

Kwelderontwikkeling van de Karhoek in de Mokbaai op Texel

M.J. Baptist, C.J. Smit, W.E. van Duin & S.E.A. Treffers

Rapport C168/13



IMARES Wageningen UR

(IMARES - Institute for Marine Resources & Ecosystem Studies)

Opdrachtgever:

Secretariaat Nationaal Park Duinen van Texel
p/a Provincie Noord-Holland
Directie Beheer & Uitvoering, Sector PPLG
Programmering Projecten Landelijk Gebied
Ceylonpoort kamer 10-13
Postbus 3007, 2100 DA Haarlem

Publicatiedatum:

8 april 2014

IMARES is:

- een onafhankelijk, objectief en gezaghebbend instituut dat kennis levert die noodzakelijk is voor integrale duurzame bescherming, exploitatie en ruimtelijk gebruik van de zee en kustzones;
- een instituut dat de benodigde kennis levert voor een geïntegreerde duurzame bescherming, exploitatie en ruimtelijk gebruik van zee en kustzones;
- een belangrijke, proactieve speler in nationale en internationale mariene onderzoeksnetwerken (zoals ICES en EFARO).

P.O. Box 68

1970 AB IJmuiden

Phone: +31 (0)317 48 09 00

Fax: +31 (0)317 48 73 26

E-Mail: imares@wur.nl

www.imares.wur.nl

P.O. Box 77

4400 AB Yerseke

Phone: +31 (0)317 48 09 00

Fax: +31 (0)317 48 73 59

E-Mail: imares@wur.nl

www.imares.wur.nl

P.O. Box 57

1780 AB Den Helder

Phone: +31 (0)317 48 09 00

Fax: +31 (0)223 63 06 87

E-Mail: imares@wur.nl

www.imares.wur.nl

P.O. Box 167

1790 AD Den Burg Texel

Phone: +31 (0)317 48 09 00

Fax: +31 (0)317 48 73 62

E-Mail: imares@wur.nl

www.imares.wur.nl

© 2013 IMARES Wageningen UR

IMARES, onderdeel van Stichting DLO.
KvK nr. 09098104,
IMARES BTW nr. NL 8113.83.696.B16.
Code BIC/SWIFT address: RABONL2U
IBAN code: NL 73 RABO 0373599285

De Directie van IMARES is niet aansprakelijk voor gevolgschade, noch voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van IMARES; opdrachtgever vrijwaart IMARES van aanspraken van derden in verband met deze toepassing.

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	3
Samenvatting	4
1. Inleiding	5
1.1. Probleemstelling	5
1.2. Projectdoelstelling	5
1.3. Verantwoording en dankwoord	5
2. De Mokbaai in verleden en heden	8
2.1. Geschiedenis	8
2.2. Huidige situatie	13
3. Methoden	17
3.1. Analyse van kaarten van de omvang en vegetatiezones	17
3.2. Inmeten van de hoogte van de Karhoek en het voorliggende wad	17
3.3. Vergelijking van de bathymetrie van de Mokbaai in 1983 met 2013	19
4. Resultaten	22
4.1. Verandering in omvang en vegetatiezones van de kwelder	22
4.2. De hoogteligging van de kwelder van de Karhoek en de Mokbaai in 2013	24
4.3. Vergelijking van de hoogteligging van de Mokbaai in 1983 met 2013	25
5. Discussie en aanbevelingen	28
5.1. Sedimentbalans	28
5.2. Vegetatieontwikkeling	30
5.3. Uitbreiding Riet	30
5.4. Inschatting van de omvang van effecten	31
5.5. Aanbevelingen	32
6. Referenties	33
Verantwoording	34

Samenvatting

De kwelder De Karhoek in de Mokbaai op Texel maakt onderdeel uit van het Nationaal Park Duinen van Texel. De Werkgroep Onderzoek van het Nationaal Park vermoedt dat het kwelderoppervlak de afgelopen decennia aanzienlijk is afgenomen en vreest dat de kwelder in de toekomst nog kleiner zal worden. Een ander punt van zorg is de voortgaande rietvorming aan de zuidrand van de Mokbaai. De rietvegetatie verdringt op grote schaal de typische kweldervegetatie. Het Overlegorgaan van het Nationaal Park vraagt daarvoor speciale aandacht en is geïnteresseerd in mogelijke maatregelen om dit proces te beïnvloeden ten gunste van het behoud van de kweldervegetatie.

In deze studie is nagegaan, op basis van kaartmateriaal uit heden en verleden, of er een achteruitgang van het kwelderareaal van de Karhoek is, en wat de veranderingen in de vegetatie in dit gebied zijn. De hoogteligging van de kwelder en het voorliggende wad is ingemeten en vergeleken met een lodingskaart van 1983. Mogelijke oorzaken voor veranderingen zijn aangegeven en aanbevelingen zijn beschreven.

De vergelijking van de vegetatiekaarten laat zien dat het kwelderareaal van de Karhoek in de periode 1985 - 1994 is afgenomen met ruim 4 ha (ca. 12%). Dit komt voornamelijk door een achteruitgang van de pionierzone. Na 1994 is het totale kwelderareaal nagenoeg gelijk gebleven. Tussen 1999 en 2005 is er sprake van regressie in de lage delen van de kwelder, dat wil zeggen: de lage kwelderzone gaat terug naar kwelderzone met pioniersoorten en pionierzone. Tegelijkertijd treedt achterin de Karhoek successie op van de midden-kwelderzone naar hoge kwelderzone en er ontstaat veel meer riet dat typisch is voor de hoge en brakke kwelderzone. Hierbij is waarschijnlijk sprake van twee parallelle en onafhankelijke processen: de toenemende kwel van zoet water (onder andere omdat in het achtergelegen duingebied meer zoet water wordt vastgehouden dat via de omringende duinen richting Mokbaai lekt) leidt tot successie in de hoge delen. Een tekort aan sediment leidt tot regressie (teruggang in de reeks van vegetatieopvolging) van de lagere delen, vooral in de pionierzone van de kwelder. Bovendien blijkt uit metingen die in 2013 zijn uitgevoerd, en die zijn vergeleken met een door Rijkswaterstaat in 1983 vervaardigde lodingskaart, dat er een verlaging van 15-25 cm optreedt in de hoogte van het aan de kwelder grenzende wad.. Dit wijst op een negatieve sedimentbalans in het meest westelijke deel van de Mokbaai. Hoewel nader onderzoek moet uitwijzen of er een oorzakelijk verband bestaat tussen dit verschijnsel en baggerwerkzaamheden in de Mokgeul, is een effect van deze laatste activiteit niet uit te sluiten.

Een aanbeveling voor een toekomstig beheer van de Mokbaai, om zowel het economische belang van de Joost Dourleinkazerne als het ecologische belang van de Karhoek samen op te laten gaan, is te zorgen dat een deel van het gebaggerde sediment achterin de Mokbaai op de kwelder komt. Een mogelijke methode is agitatiebaggeren tijdens de vloedfase. Eventuele opties om te proberen de opdringende rietvegetatie te remmen zijn ingrijpend en zullen waarschijnlijk weinig succesvol zijn. Men zou kunnen proberen de zoetwaterafvoer te beperken. Dit zal óf een grote ingreep inhouden, bijvoorbeeld in de vorm van een damwand langs de zuidelijke rand. Een dergelijke ingreep past echter niet in een natuurlijk systeem en kan voor andere problemen met de waterhuishouding in het hele duingebied zorgen. Een andere optie is een ingreep in de waterhuishouding, bijvoorbeeld door een grotere afstroom uit de duinen via de Moksloot te creëren. Een dergelijke ingreep zal echter gevolgen voor de duinen hebben.

1. Inleiding

1.1. Probleemstelling

De kwelder De Karhoek in de Mokbaai (Figuur 1) op Texel maakt onderdeel uit van het Nationaal Park Duinen van Texel. De Werkgroep Onderzoek van het Nationaal Park vermoedt dat het kwelderoppervlak de afgelopen decennia aanzienlijk is afgenomen en vreest dat de kwelder in de toekomst nog kleiner zal worden.

Een ander punt van zorg is de voortgaande rietvorming aan de zuidrand van de Mokbaai. De rietvegetatie verdringt op grote schaal de typische kweldervegetatie. Het Overlegorgaan van het Nationaal Park vraagt daarvoor speciale aandacht en is geïnteresseerd in mogelijke maatregelen om dit proces te beïnvloeden ten gunste van het behoud van de kweldervegetatie.

De Werkgroep Onderzoek van het Nationaal Park heeft IMARES benaderd met de vraag om na te gaan of de vermoedens op feiten berusten. Tevens is gevraagd meer informatie te verschaffen over de oorzaak van dit proces en de mogelijke maatregelen voor behoud en herstel van deze kwelder van belang vanwege de kenmerkende landschappelijke en natuurlijke waarden die in het geding zijn.

1.2. Projectdoelstelling

Hoofddoel van het project is na te gaan, op basis van kaartmateriaal uit heden en verleden, of er een achteruitgang van het kwelderareaal in het westelijk deel van de Mokbaai, de kwelder van de Karhoek (Figuur 2), is en wat de veranderingen in de vegetatie in dit gebied zijn. Aanvullend doel is om, indien mogelijk, een oorzaak voor de gesignaleerde veranderingen aan te geven en aanbevelingen te doen die, indien gewenst, mogelijk tot vermindering van de achteruitgang of zelfs herstel kunnen leiden.

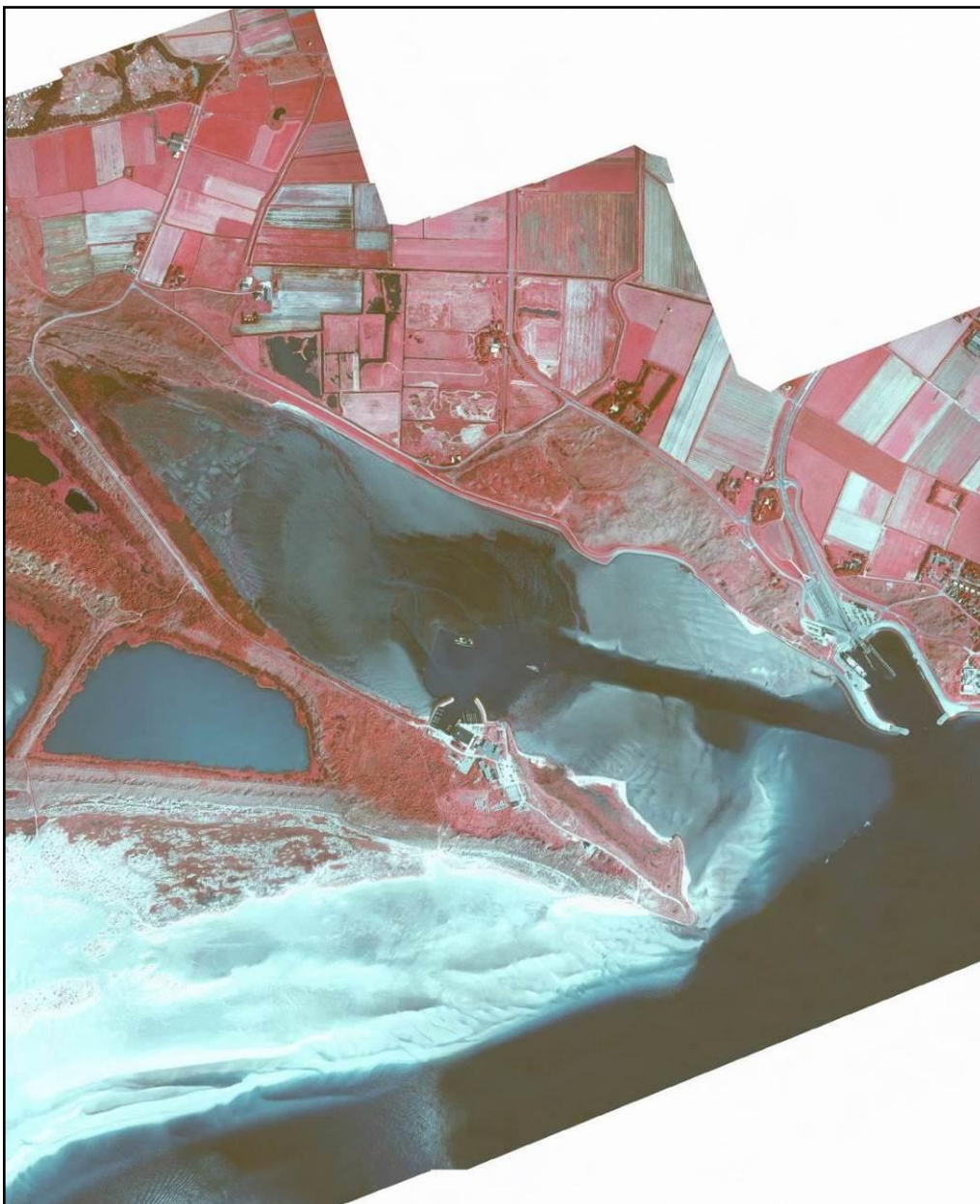
In de analyse van bestaand kaartmateriaal en hoogtemetingen/lodingen zullen de volgende aspecten aan bod komen:

1. Of, waar en hoeveel de kwelder in oppervlak is afgenomen;
2. Wordt de eventuele afname veroorzaakt door kliferosie, wat zou kunnen duiden op een lage ligging van de aangrenzende wadplaten, of is er ook sprake van regressie binnen de kwelder;
3. Zijn er verschuivingen in de vegetatiesamenstelling opgetreden, waarbij met name riet speciale aandacht krijgt.

1.3. Verantwoording en dankwoord

Dit project is grotendeels met behulp van studenten tot stand gekomen. In de eerste plaats door Sjors Treffers, student Kust- en Zeemanagement van Hogeschool Van Hall – Larenstein te Leeuwarden. Sjors heeft alle beschikbare data van de Mokbaai verzameld, kaarten gedigitaliseerd, hoogtes ingemeten en een analyse van de veranderingen uitgevoerd. Daarnaast is aanvullend werk verricht door vier PhD-studenten, als onderdeel van hun NCK Summerschool 2013. De NCK Summerschool is een tweejaarlijkse cursus van twee weken die gehouden wordt op Texel. De cursus wordt georganiseerd door het Nederlands Centrum voor Kustonderzoek (NCK) en richt zich op fysische en ecologische processen van de kusten waarbij dit wordt ingebed in een kader van integraal kustbeheer. De deelnemers bestaan voornamelijk uit PhD studenten en uit professionals uit het werkveld. De cursisten die zich met de Mokbaai hebben bezig gehouden zijn Maria Ibanez, Giorgio Santinelli, Rooney Mathew en Saulo Meirelles.

We danken Giel Witte, voormalig medewerker van Rijkswaterstaat Directie Noord-Holland voor zijn uitgebreide hulp over de achterliggende gegevens van de lodingskaart uit 1983. Dank gaat uit naar het Hoogheemraadschap Noord-Hollands Noorderkwartier (Oudeschild) voor het opzoeken van historische gegevens over de meetpaaltjes in de Mokbaai. We danken Quirijn Lodder en Tinus de Ruiter van Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving voor het aanleveren van de AHN2 data van de duinen van Texel en de Mokbaai ten behoeve van de NCK Summerschool. We danken Aad van Gils, voormalig commandant van de Joost Dourleinkazerne, voor het ter beschikking stellen van historisch kaartmateriaal. We danken Dick Drijver voor zijn kennis over (het gebruik van) de kwelder van de Mokbaai. We danken SOVON, vestiging Texel, (Bruno Ens) voor het ter beschikking stellen van een RTK-DGPS voor aanvullende metingen in het veld. We danken Alma de Groot voor het helpen bij een deel van de hoogtemetingen. Last but not least danken we Elze Dijkman voor haar ondersteuning in GIS.



Figuur 1. 'False colour' luchtfoto van de Mokbaai in 2005. Bron: Rijkswaterstaat.



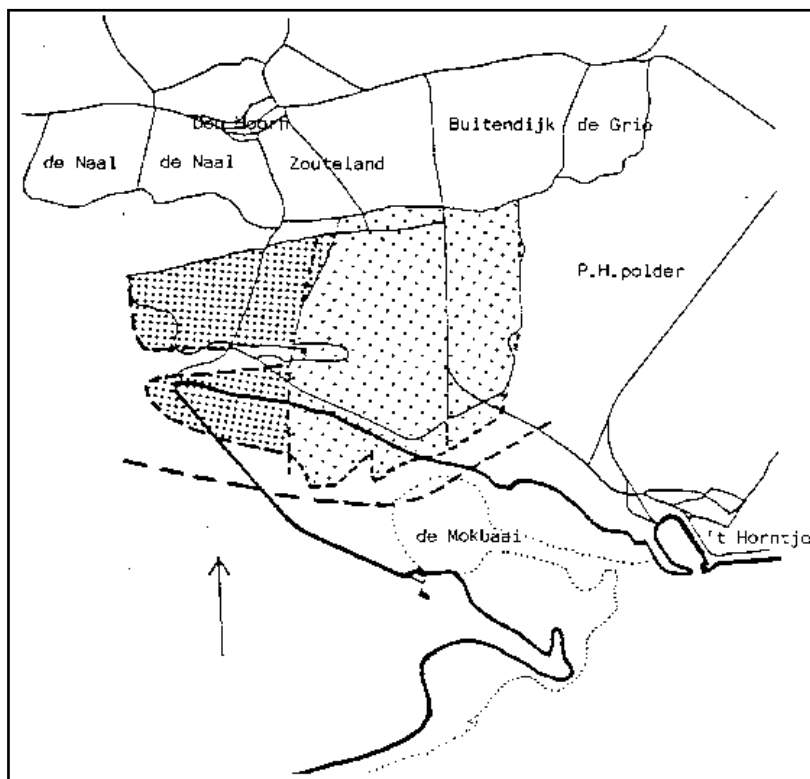
Figuur 2. Luchtfoto van de kwelder van de Karhoek in de Mokbaai en een uitvergroting van het kwelderdeel tijdens hoog water op 2 augustus 2011. Bron: <https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat / Joop van Houdt.

2. De Mokbaai in verleden en heden

2.1. Geschiedenis

In de voorbije honderden jaren is de zuidpunt van Texel aan grote veranderingen onderhevig geweest. Belangrijkste oorzaak was de natuurlijke dynamiek van veranderende stromingspatronen en de aanvoer van zand, waardoor in de loop van de eeuwen zandbanken richting Texel zijn gewandeld en uiteindelijk met de zuidpunt zijn verheeld. De oudste twee, Den Andel (De Naal) en De Cule (Kuil), verzandden in respectievelijk 1290 en 1390. Deze geulen liepen vanuit de huidige Mokbaai in noordwestelijke richting. Hun opvolgers, de Laen (ook wel het Schettersdiep of Landsdiep van Texel) verzandde in 1590. Het Spanjaardsgat was eeuwenlang een belangrijke vaarroute en lag zuidelijk van Den Hoorn, de Schilbolsnol en het Loodsmansduin. De vaarroute werd na 1700 steeds ondieper. In 1732 groeide de Hors, daarvoor nog een zandplaat aan de zuidkant van het Spanjaardsgat, vast aan het eiland. Het zuidoostelijke deel van het Spanjaardsgat bleef open en werd de Mokbaai (Schoorl 1999ab).

Vóór 1738 was er nog geen Mokbaai en waren er ten zuiden van Den Hoorn landbouwgebieden. Figuur 3 geeft de ligging van de Binnenkuil en de Buitenkuil zoals die bestonden begin 17^e eeuw geprojecteerd op een topografische kaart van de Mokbaai uit 1985. Het deel van de Mokbaai dat nu de kwelder Karhoek wordt genoemd was vier eeuwen geleden landbouwgrond. Het voormalige Spanjaardsgat lag net ten zuiden van dit gebied en ook het huidige natuurgebied "De Geul" is nog een restant van deze geul.



Figuur 3. Ligging van de Binnenkuil (fijn gestippeld) en Buitenkuil (grof gestippeld) op een projectie van de topografische kaart van de Mokbaai uit 1985. Bron: Schoorl 1999b en Veldnamen Texel.



Figuur 4. De Rede van Texel in de tweede helft van de 18e eeuw, kort na het verzanden van het Spanjaardsgat. Uit: van der Vis (1975).

In de jaren na het verzanden van het Spanjaardsgat werd de inmiddels ontstane kom intensief gebruikt als rede (voor gedetailleerde informatie zie Schoorl 1999b), daarbij profiterend van de beschutte ligging van het gebied en het feit dat zij vrijwel altijd (behalve bij zuidoosten wind) goed bereikbaar was (Figuur 4).

Door het plaatsen van bossen stro, rijshout en rietschermen is in 1759 getracht te voorkomen dat dit ankergebied verder zou verzanden maar al snel werd duidelijk dat de ondiepe en uiteindelijk beste ankergronden onbruikbaar werden (van der Vis 1975). Vooral na het vastgroeien van de voormalige zandbank Hors met het zuidelijk deel van Texel in 1732 ontwikkelden zich grote duincomplexen op de Texelse zuidpunt, in 18^e eeuw mede dankzij de aanleg van stuifdijken. Tussen 1732 en 1870 verplaatste zich de duinvoet in dit gebied 1400 meter richting Noordzee terwijl wat noordelijker, in de omgeving van strandpaal paal 12, sinds het begin van de eeuw minstens 1000 meter duingebied in zee is verdwenen (Dijksen 1996).

De twee meest recente zandbanken die met de zuidpunt van Texel zijn verheeld zijn de Hors in 1732 (Schoorl 1999b) en de Onrust tussen 1910 en 1914 (Dijksen 1996). De duinenrijen aan de zuidzijde van de Mokbaai ontwikkelden zich in de jaren '30 en '40 van de 20e eeuw. Vooral sinds het vergroeien van de Onrust met de zuidpunt van Texel ontstonden op de Texelse zuidpunt weer nieuwe duinenrijen, gescheiden door laagtes. Door natuurlijke invloeden en door de aanleg van kunstmatige stuifdijken ontwikkelde zich de Geulvallei, die aanvankelijk aan de oostzijde nog een open verbinding naar zee had. Deze opening verzandde in 1927. Door manipulaties met rietschermen en rijshoutschermen ontstonden vervolgens het westelijke Horsmeertje (in 1953 afgesloten van de invloed van de zee) en in 1964 het oostelijke Horsmeertje (Dijksen 1996).

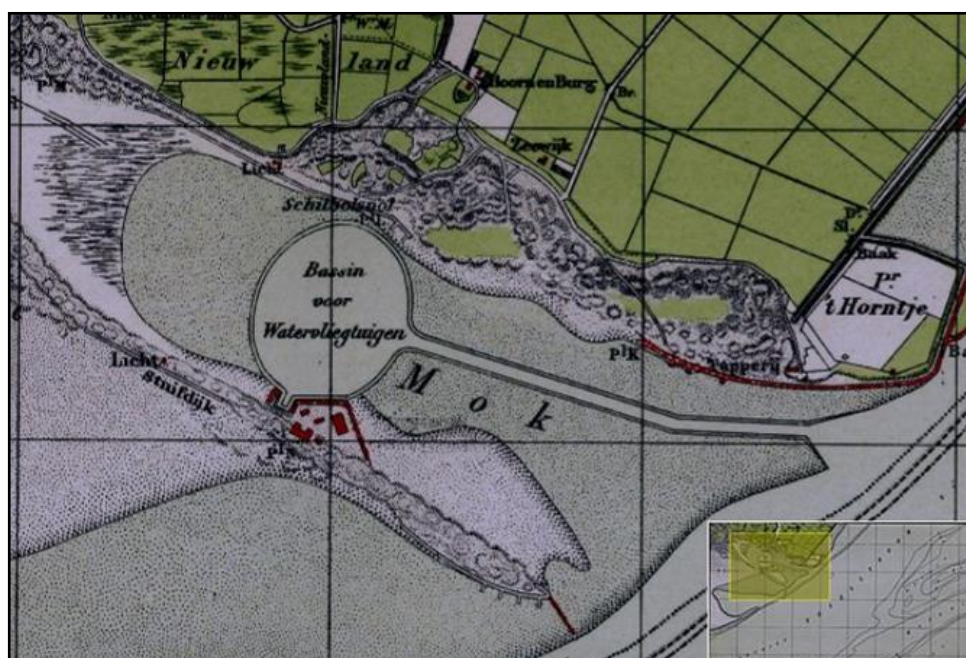


Figuur 5. Kadasterkaart uit 1811-1832 van het zuidelijke deel van Texel (noorden is rechtsonder). Bron: www.watwaswaar.nl

De Mokbaai heeft zich dus in de 19e en 20e eeuw ontwikkeld van een baai die alleen door een smal duingebied van de zuidpunt van Texel was gescheiden (zie Figuur 5) naar een baai die sterk door menselijke activiteiten is beïnvloed (zie Figuur 9). Aanvankelijk was sprake van een ondiepe baai met een van oost naar west lopende geul met waterdiepten van 2 tot maximaal 39 palmen (omgerekend 0,2 - 3,9 m), omgeven door deels kunstmatige duinenrijen en een stukje dijk ter hoogte van het Hoornder Nieuwland (Figuur 6). Andere kaarten uit min of meer dezelfde tijd (zoals Figuur 7) en ook de kaart van 1911 (Figuur 8) laten eenzelfde beeld zien maar met minder detail en soms met en soms zonder de drempel in de monding van de Mokbaai die in Figuur 6 en 7 te zien is.



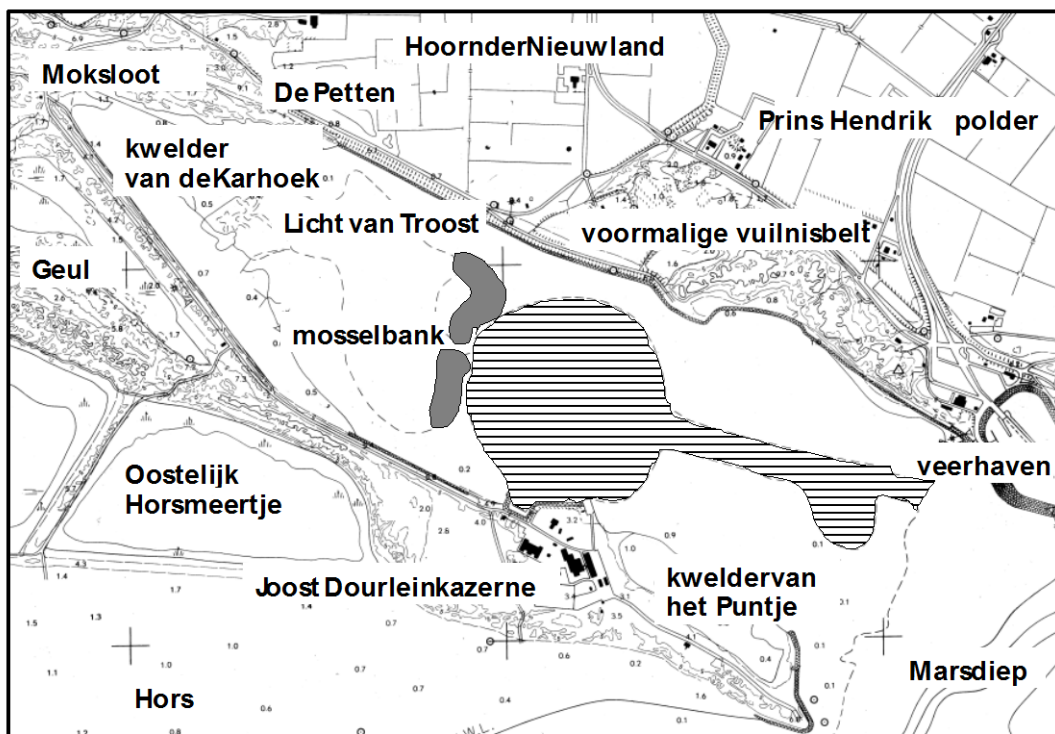
Figuur 8. Militaire kaart uit 1911 van de Mokbaai en omgeving. Bron: www.watwaswaar.nl



Figuur 9. Militaire kaart uit 1937 van de Mokbaai en omgeving. Bron: www.watwaswaar.nl

2.2. Huidige situatie

Anno 2013 is de Mokbaai een beschutte baai van ongeveer 2,5 km lengte en ruim 0,6 km breedte, gelegen aan de monding van het Marsdiep. In 1993 had het gebied een grootte van 159 ha, inclusief 2 kwelders: de kwelder van de Karhoek (11.7 ha) en de kwelder van het Puntje (6.2 ha). In totaal 21 ha van het gebied was permanent door water bedekt in de vorm van de Mokgeul en de haven van de Joost Dourleinkazerne (Smit 2000). In het noorden wordt de baai begrensd door de Texelse veerhaven, een duincomplex en een in de jaren '60 op deltahoogte gebrachte zeedijk die in 2008 werd gerenoveerd. In het westen ligt een kwelder met een relatief grote invloed van zoet kwelwater, grotendeels afkomstig uit de aangrenzende duinen. Deze kwelder wordt doorsneden door de Moksloot die een permanente afvoer van zoet water levert uit het achtergelegen Pompevlak en Grote Vlak-gebied. In het zuiden bestaat de begrenzing uit oude stuifdijken, waarachter een duincomplex, de Horsmeertjes en de Geul. Verder oostelijk ligt het terrein van de Joost Dourleinkazerne (Figuur 10), bestaande uit een gebouwencomplex, een haven, voorzieningen voor het onderhoud en te water laten van kleine vaartuigen, een kwelder en een stuifdijk. Laatstgenoemde kwelder wordt aan de wadzijde begrensd door een hoge zand- en schelpenrug. Dankzij de min of meer permanente afvoer van zoet water via de Moksloot is de Mokbaai in feite een estuarium. Afgezien van de in de Dollard uitmondende rivier de Eems is de Moksloot momenteel de enige beek in de Nederlandse Waddenzee die, zonder te zijn afgesloten door een sluis of gemaal, direct afwatert op de Waddenzee.



Figuur 10. Overzichtskaart van de Mokbaai, op basis van de topografische kaart 1:10.000 uit 1979.

De Mokbaai is sinds 1917 in gebruik geweest als vliegkamp voor watervliegtuigen (Figuur 11). Om dit mogelijk te maken zijn er in de eraan voorafgaande jaren vrij grote aanpassingen uitgevoerd, onder andere in de vorm van het baggeren van een kom waarin met watervliegtuigen kon worden gemaneuvreerd (vergelijk de Figuren 8 en 9) en om ook landingen tijdens laagwater mogelijk te maken. Deze kom werd tot in de jaren '60 op een diepte van 1.20 tot 2.20 m onder NAP gehouden op diepte

Tabel 1. Bekende (gemiddelde) baggerhoeveelheden in de periode 1995-2012 (gegevens DGW&T Utrecht).

Jaar	Baggerhoeveelheid (m ³)	Gem. baggerhoeveelheid (m ³ /jaar)
1995	262.665	
1996	7.852	
1997	42.280	
1998	41.676	
2001 t/m 2012		40.282
2007 t/m 2012		31.739

gehouden en had een omvang van 595 bij 480 m (Figuur 10). Aan het gebruik als marinevliegkamp kwam een einde bij het begin van de Tweede Wereldoorlog, toen het watervliegveld door Duitse bombardementen grotendeels werd vernield. De toen nog overeind staande kampementen werden op 14 mei 1940 door Nederlandse troepen vernield om te voorkomen dat intacte gebouwen en vliegtuigen in Duitse handen vielen (Barnard & Rommets 1995).

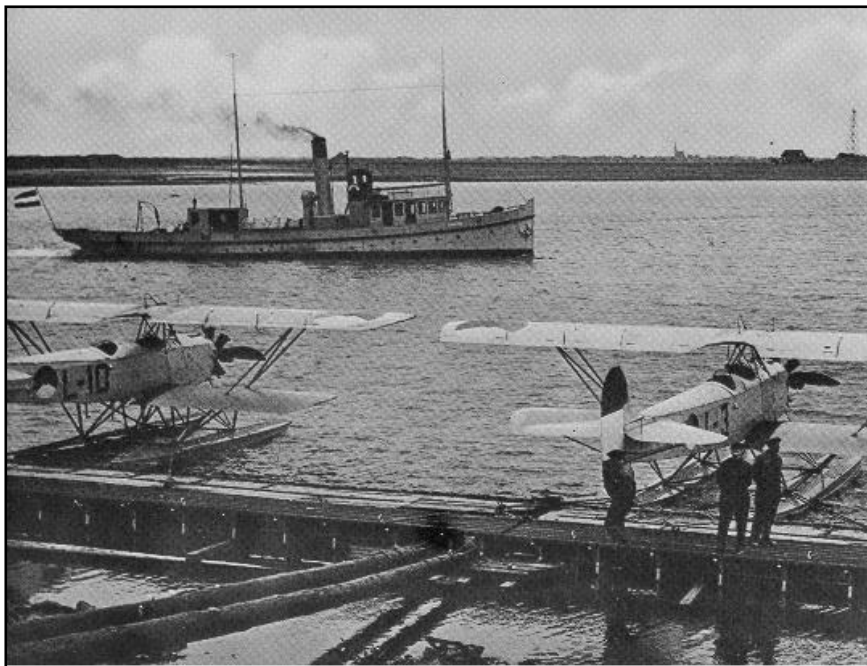
Het noordoostelijk deel van de kwelder tussen Neeltjesnol en de Moksloot was aan het begin van de vorige eeuw aanzienlijk hoger en droger. Er werden op die locatie ook nauwelijks afwateringsgreppels gegraven. Dit stukje kwelder werd in de familie Drijver (die pachtten het gebied voor schapenbeweiding) en door andere Hoornders "t Veldje" genoemd. Deze naam refereert nog aan het feit dat dit gebiedje door de Hoornders werd gebruikt als korfbalveldje in de jaren dertig van de vorige eeuw. Een wel zeer bijzondere vorm van cultuurhistorisch medegebruik (mededeling Dick Drijver).

In de jaren van de Tweede Wereldoorlog was het Noordzeestrand verboden gebied. De Hoornders gingen dan naar het "kleine strandje" (gelegen iets oostelijk van Neeltjesnol) en zwommen/poedelden/speelden in het mondingsgedeelte van de Moksloot (mededeling Dick Drijver).

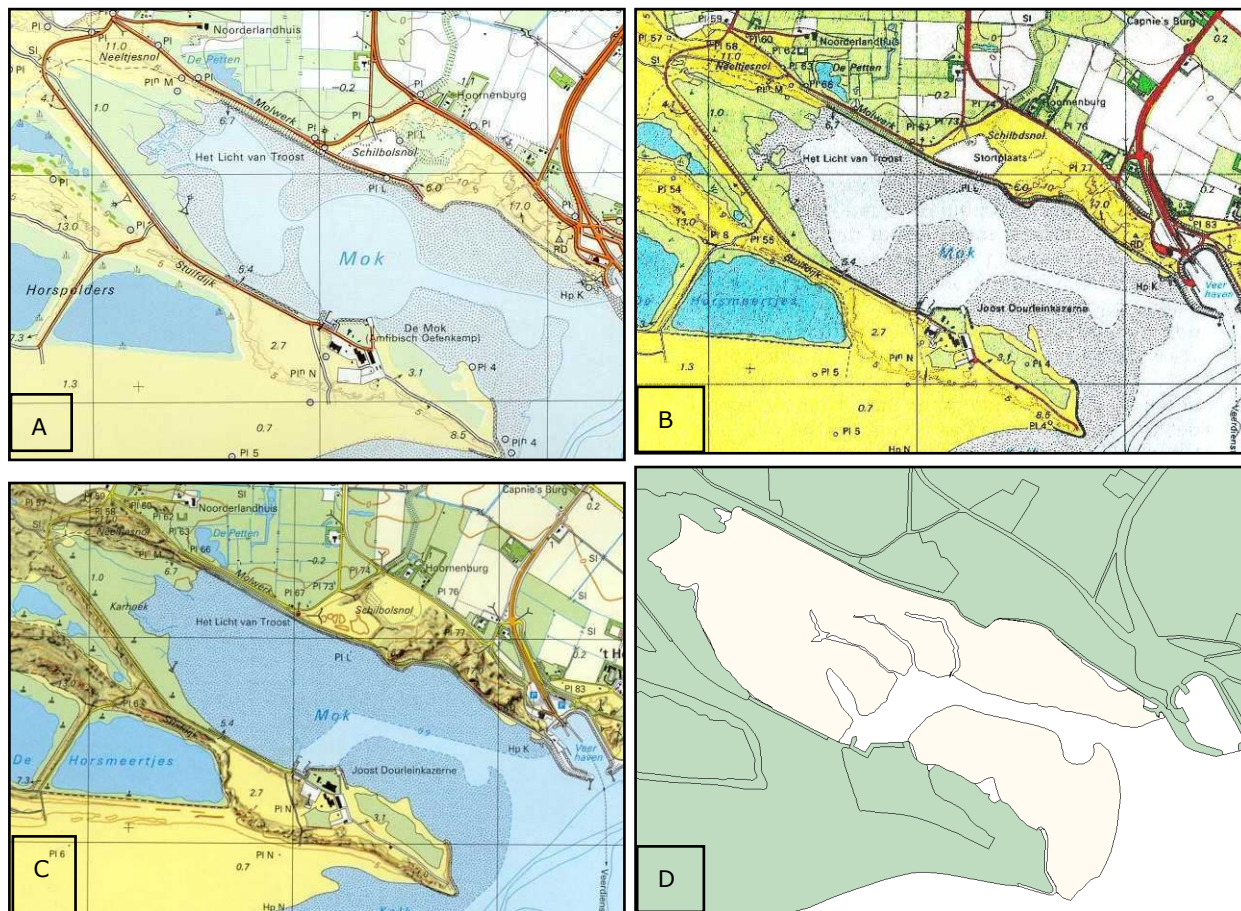
In het verleden moet er in de Mokbaai intensief zijn gebaggerd om de kom voor de haven van de Joost Dourleinkazerne op diepte te houden maar kwantitatieve gegevens hierover zijn niet meer beschikbaar (med. Rijkswaterstaat Texel). In de jaren na de Tweede Wereldoorlog hebben de baggerwerkzaamheden zich beperkt tot het op diepte houden van de vaargeul naar de haven van de huidige Joost Dourleinkazerne (mond. med. D. Maas, RWS Dienstkring Texel). Hiertoe is in de jaren 1995-98 in totaal 354.473 m³ sediment gebaggerd (Tabel 1). Als gevolg van een verminderde baggeractiviteit is de voormalige kom geleidelijk aan dichtgeslibd (zie Figuur 12), een ontwikkeling die met name goed merkbaar werd in de jaren '80 en '90. Als gevolg hiervan is het areaal bij laagwater droogvallend wad in de Mokbaai toegenomen van 107 ha in 1983 tot 120 ha in 1993 (Smit 2000, op basis van lodingskaarten). In 2005 is de Mokbaai opnieuw uitgediept. Daarbij zijn meer dan 5300 explosieven geruimd. In 2008 zijn de dijken van de Mokbaai, zowel aan de noordzijde als op het Puntje, vernieuwd.

Zoals overal elders in de Waddenzee heeft zich ook in de Mokbaai een zeespiegelrijzing voltrokken van 0,15-0,20 cm per jaar. De stijging van de hoogwaterniveaus was echter aanzienlijk groter (gemiddeld 0,37 cm/jaar) en houdt verband met een toename van de gemiddelde windsnelheid (Dijkema 1994). Deze zeespiegelrijzing wordt in vrijwel alle buitendijkse gebieden gecompenseerd door sedimentatie. Met name in het westelijke deel van de Mokbaai, en in het bijzonder de kwelder van de Karhoek, lijkt dit niet te zijn gebeurd. Hoewel metingen ontbreken kan uit waarnemingen van vogelwachters die ook de situatie van enkele tientallen jaren geleden kennen, worden opgemaakt dat de kwelder van de Karhoek tijdens hoge tijden tegenwoordig veel vaker wordt overspoeld. Bovendien is de grens van de kweldervegetatie in dit gebied teruggeweken in westelijke richting (mond. med. Kees Bruin, SBB Texel). De oorzaak van het achterwege blijven van voldoende opslibbing in het westelijke deel van de Mokbaai is niet duidelijk. Een mogelijke verklaring is de wel opgetreden opslibbing in het centrale deel van de Mokbaai. De hier opgetreden sedimentatie kan een tekort aan sediment in het westelijke deel van de

Mokbaai tot gevolg hebben gehad. Bij de aanleg van de nieuwe veerhaven in 1964 verdween een klein stuk zandig wad aan de noordrand van de Mokbaai. In 1966 is aan de kop van de stuifdijk aan de zuidoostpunt van de Mokbaai, na een ernstige dijkval, een suppletie uitgevoerd met zand dat voor dit doel was gezogen uit de Mokgeul en het aangrenzende wad aan de zuidkant van de Mokgeul (med. G. Witte, RWS Dienstkring Texel). Daarvoor was de kop van de stuifdijk met zinkstukken verstevigd. De in de Mokbaai ontstane 15 m diepe zuigput heeft zich in de loop van de erop volgende jaren geleidelijk met sediment gevuld. In 1976 bedroeg de diepte van dit gat nog 8.00 m onder NAP, in 1983 werd op deze plaats nog een diepte van maximaal 2.90 m onder NAP gemeten (gegevens lodingskaarten RWS). In 1993 bedroeg de diepte nog 1.40-1.60 onder NAP (loding Hr. Ms. Buyskes, Ministerie van Defensie). Anno 2013 is deze zuigput bij laagwater nog steeds als een verbreding van de Mokgeul te herkennen.



Figuur 11. Het marinevliegkamp 'De Mok', naar een prentbriefkaart uit ongeveer de jaren '30.



Figuur 12. De ontwikkeling van het droogvallend wad in de Mokbaai in de jaren '80 en '90. Naar gegevens van topografische kaarten uit (a) 1984, (b) 1994, (c) 1998 en (d) een inmeting (anno 2000) van de laagwaterlijn door Alterra Texel (Smit 2000).

3. Methoden

In deze studie is gebruikt gemaakt van drie methoden:

1. Een vergelijking van vegetatiekaarten van de kwelder van de Karhoek in 1985, 1994, 1999, 2005 en 2011 om het oppervlak van de kwelder en vegetatiezones te bepalen
2. Inmeten van de hoogteligging van de kwelder van de Karhoek en het voorliggende wad in 2013
3. Vergelijken van de bathymetrie / hoogteligging van de Mokbaai in 1983 met 2013.

3.1. Analyse van kaarten van de omvang en vegetatiezones

Rijkswaterstaat verricht reguliere monitoring van alle kwelders in Nederland. Het uitvoeren van deze vegetatiekartering vindt plaats in 3 fasen: in het 1e jaar worden 1:50.000 luchtfoto's genomen, in het 2e jaar vindt de bewerking plaats en in het 3e jaar de rapportage. Van de kwelder van de Karhoek zijn vegetatiekaarten beschikbaar van 1985, 1994 (Tolman & Knotters 1997), 1999 (Koppejan 2002), 2005 (Jager 2007) en 2011 (Pranger & Tolman 2013).

De kaarten van de vegetatiesamenstelling van kwelders bevatten een zeer gedetailleerde onderverdeling in vegetatietypen, leidend tot een classificatie in vele tientallen typen. Voor kwelders bestaat in het classificatieprogramma SALT97 (De Jong et al. 1998) en latere versies de mogelijkheid deze vegetatietypen te condenseren tot een beperkter aantal typen. Voor de overzichtelijkheid en om de vergelijking tussen jaren beter in beeld te kunnen brengen is er in dit rapport voor gekozen om deze vegetatietypen nog een stap verder te condenseren tot vegetatiezones. Voor de pre-pionierzone wordt een bedekking aangehouden van < 5% Zeekraal, voor de pionierzone > 5% Zeekraal en als lage kweldergrens >5% bedekking met Gewoon kweldergras.

Nauwkeurige analyse van de bestaande typologie wees uit dat er door de samenstellers van de vegetatiekaarten enkele inconsistente toekenningen van vegetatiezonering waren toegepast. In de kaart van 1985 was nagenoeg het gehele duingebied in het noorden van de Karhoek gekarteerd als "duin", in 1994 was zo'n 30% van het duingebied gekarteerd als "hoge en brakke kwelderzone", in 1999 ontbrak het duingebied en in 2005 was wederom nagenoeg het gehele duingebied gekarteerd als "duin". Om een procentuele samenstelling van vegetatiezones over de tijd te kunnen maken is dit aangepast.

3.2. Inmeten van de hoogte van de Karhoek en het voorliggende wad

De hoogte van de kwelder Karhoek is niet eerder nauwkeurig ingemeten. Er bestaat weliswaar een lodingskaart van 1983 van de Mokbaai, maar aangezien deze loding vanaf een schip is uitgevoerd, ontbreekt hierop de kwelder. Inmiddels zijn ook nauwkeurige hoogtebepalingen met laseraltimetrie beschikbaar uit het Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN). Echter, op detailniveau zijn aanvullingen nodig, met name voor wat betreft delen die bedekt zijn met water. Open water reflecteert de laser zodat er geen bepaling mogelijk is van het bodemniveau onder water. Om een nauwkeurige hoogtekaart van de Karhoek te verkrijgen is de kwelder in het kader van deze studie ingemeten met een RTK-DGPS.

De apparatuur die is gebruikt voor het inmeten van de hoogtes in de Mokbaai is een RTK-DGPS (Real Time Kinematic - Differential Global Positioning System) van het bedrijf Trimble (Figuur 13). Deze RTK-DGPS R6 heeft een nauwkeurigheid van minder dan 2 cm zowel in de horizontale als in de verticale positiebepaling. Het systeem meet de hoogte (Elevation t.o.v. NAP) en de locatie (Northing en Easting in Rijksdriehoeksstelsel).

DGPS is een techniek om de nauwkeurigheid van een gewone GPS-meting te vergroten door middel van correcties op de gemeten positie ten opzichte van basisstations waarvan er meerdere zijn geplaatst in Nederland. RTK is een techniek die wordt gebruikt om de precisie te verhogen door tijdens de meting (real time) gebruik te maken van fasecorrecties op de satellietsignalen. Door deze twee technieken te combineren kan de hoge nauwkeurigheid worden bereikt. De R6 GNSS ontvanger wordt bovenop een 2 meter lange stok gemonteerd om metingen te kunnen verrichten en ook de TSC3 veldcomputer wordt aan deze stok gemonteerd. Via de veldcomputer worden de metingen van de ontvanger zichtbaar en kunnen deze worden opgeslagen. Het dataopslagsysteem werkt via een mobiel telefonienetwerk. Er moet dus voldoende ontvangst zijn om de metingen te kunnen registreren.



Figuur 13. Links: Trimble R6 GNSS ontvanger. Rechts: TSC3 veldcomputer.

De kwelder is verboden terrein tijdens het broedseizoen. Daarom is bij de terreinbeherende instantie van het gebied (Staatsbosbeheer) een onderzoeksvergunning aangevraagd. Tijdens het onderzoek was een broedpaar Bruine Kiekendieven (*Circus aeruginosus*) in het riet langs de kwelder aanwezig. Om verstoring van het nest te voorkomen is niet te dicht langs het riet gelopen. Voor het inmeten van de kwelder zijn van tevoren geen raaien uitgezet maar werden ter plaatse punten ingemeten die zo representatief mogelijk zijn voor de hoogtes van de kwelder. Er is wel een volgorde bepaald voor wat prioriteit kreeg bij het inmeten:

1. De contouren van de kwelder inmeten, de vegetatiegrens eerst inlopen
2. De kwelder in zijn geheel inlopen op basis van een min of meer regelmatig grid
3. De randen van de Moksloot inmeten
4. Andere kleine kreekjes/geulen inmeten
5. Een deel van de duinen inmeten
6. De hoogte van het voorliggende wad inmeten.

Bij gedeelten met meer reliëf is zo goed mogelijk geprobeerd om de overgangen met een hogere dichtheid aan meetpunten in te meten. Op vlakke delen zijn minder punten genomen. Ook is het dwarsprofiel van de Moksloot ingemeten door dwars op de kreek raaien te lopen. De duinen zijn over een beperkt areaal ingemeten omdat dit niet tot de prioriteiten van het onderzoek werden gerekend. In totaal zijn er op de kwelder 2806 xyz waarden bepaald. Daarnaast is de hoogte van het voorliggende wad ingemeten.

De meetgegevens van de RTK-DGPS zijn geëxporteerd als ESRI- shapefile, als komma gescheiden (CSV) en als GPS points report (om de precisie van de metingen te controleren). De ESRI-shapefile kan direct

in het GIS-pakket Arcgis worden geïmporteerd en bewerkt. Van de meetpunten is met verschillende interpolatietechnieken een vlakdekkende kaart gemaakt.

3.3. Vergelijking van de bathymetrie van de Mokbaai in 1983 met 2013

Het intergetijdengebied vóór een kwelder is van essentieel belang voor de opslibbing en ontwikkeling van een kwelder. In 1983 is op verzoek van het toenmalige Rijksinstituut voor Natuurbeheer (afd. Estuariene Ecologie – Texel) door Rijkswaterstaat een lodingskaart gemaakt waarbij de bathymetrie van de Mokbaai in kaart is gebracht tot aan de rand van de kwelder van de Karhoek. Als onderdeel van het nu uitgevoerde onderzoek is deze kaart gedigitaliseerd. Om de verandering in hoogteligging van het getijdegebied vóór de Karhoek te kunnen bepalen zijn in 2013 exact dezelfde meetpunten ingemeten als in 1983.

De metingen in 1983 zijn uitgevoerd door de toenmalige Dienstkring Texel van Rijkswaterstaat. Hierbij werd gebruik gemaakt van het peilschip Foksdiep (Figuur 14). De diepgang was ca. 1 m op de hak (de hak van een schip is het onderste deel van het schroefraam, waarop de roerkoning scharniert). Gebruikelijk is het schroefraam slechts enkele centimeters dik en steekt het in veel gevallen een klein stukje onder de lijn van de kielbalk uit). De meetsnelheid tijdens het invaren was ca. 10 km/u, afhankelijk van de stroomsnelheid en de diepte. Bij diepten van minder dan 2 m diepte moest langzamer worden gevaren. De metingen werden uitgevoerd door middel van een schrijvend echolood. Deze moest dagelijks enkele malen geijkt worden met een "ijkplaat" onder het schip, om voor de temperatuur en het zoutgehalte van het zeewater te corrigeren en om op die manier aan de nauwkeurigheidseisen te voldoen. De waterstand werd achteraf gecorrigeerd, waarbij er werd afgerond op hele decimeters. De nauwkeurigheid van het meetinstrument was 10 cm.



Figuur 14. Peilschip Foksdiep dat tot 1994 in gebruik was bij Rijkswaterstaat.

In 1983 werden er raaien gevaren om het intergetijdengebied van de Mokbaai in te meten. Op basis van op de dijk aan de noordkant van de Mokbaai aanwezige meetpalen werden op het wad, voorafgaand aan de vaarbewegingen, ter oriëntatie vlaggen geplaatst om de raaien extra te markeren. Eén meetpaal was aanwezig op de kruin van de dijk, een tweede meetpaal stond vlak voor de dijk en de derde meetpaal bevond zich in het intergetijdengebied. De richting van het invaren werd bepaald door vlaggen op twee van de desbetreffende meetpalen te plaatsen. De afstand tussen de raaien onderling bedroeg 50 meter, behalve bij de havenkom voor de marinebasis waar de onderlinge afstand 25 meter bedroeg. De afstand van de lodingspunten op een raai lag meestal 10 meter uit elkaar, soms 5 meter. De afstand van de punten op de raaien werd bepaald door middel van een Ralog afstandmeter. Dit systeem werkte met een

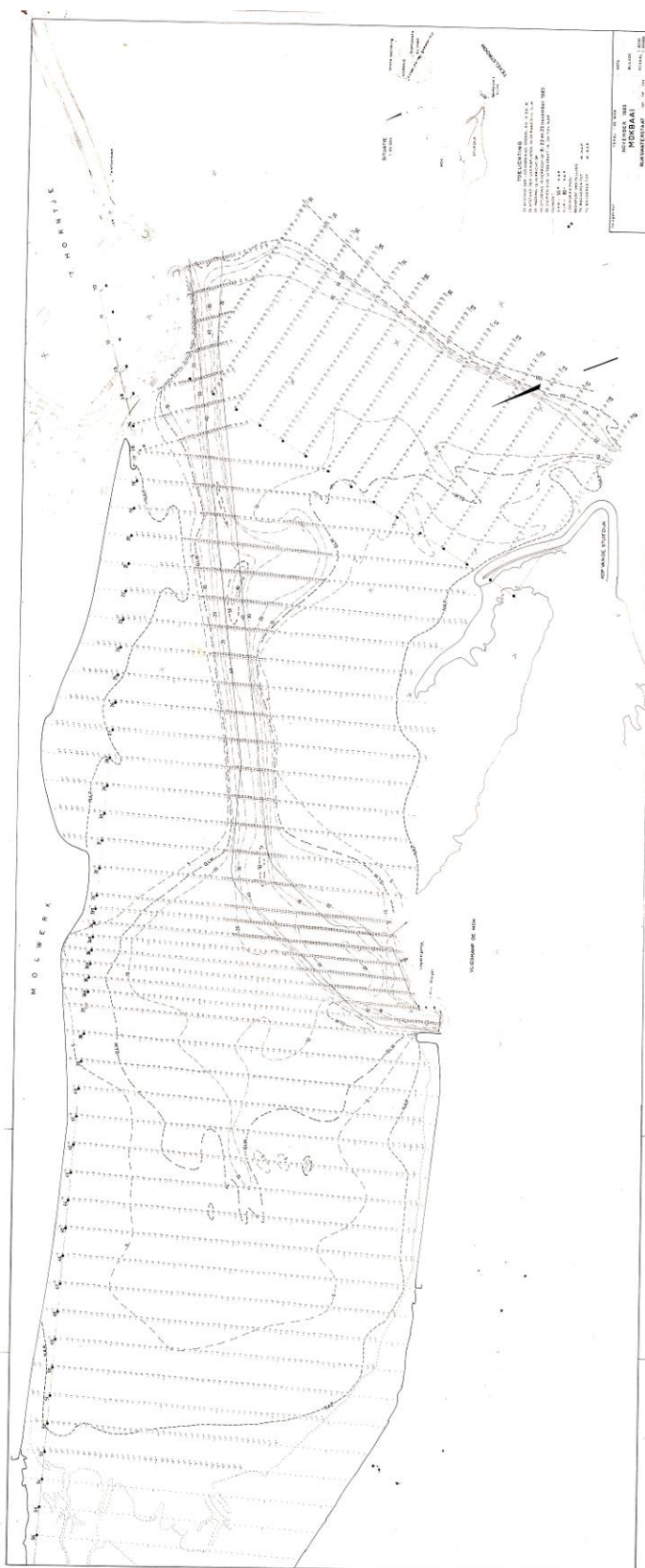
walstation en een ontvanger aan boord die aangesloten was op het echolood. De afstandsmeter moest ook regelmatig geijkt worden op een vaste afstand, bijvoorbeeld door middel van een paal of een meetdraad. Deze was, mits goed geijkt, erg nauwkeurig (<0.5 m). Het Ralog geeft automatisch elke 10 m een puls aan het echolood, die dan een lijn op het schrijfpapier kraste. In de beroepsvaart is het om juridische redenen verstandig dat er achteraf een bewijsstuk kan worden geproduceerd; daarom kan er aan het echolood een schrijvend instrument gekoppeld zijn. Dit instrument kan dan bestaan uit een metalen pen, die verhit wordt en een afrollend thermisch papier beschrijft. De pen schuift na iedere uitzending verticaal over het papier. Wanneer het echolood een weerkaatste trilling ontvangt laat de pen een zwarte streep achter op het papier). De diepte werd later door de desbetreffende persoon uitgelezen en op de kaart ingeschreven. Het inmeetwerk werd gedurende hoogwater uitgevoerd, dus gedurende ca. 3-4 uur per dag. Het tekenen van de kaart en het uitwerken van de meetgegevens op het kantoor koste circa 1 a 2 dagen. Het resultaat van de lodingen uit 1983 is weergegeven in Figuur 15.

Van het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier op Texel is van een aantal raaien in de Mokbaai de exacte coördinaten van de locaties van de paaltjes verkregen. Aan de hand van die coördinaten is met behulp van de software Python berekend wat de exacte coördinaten van alle punten in de raaien zijn. Python is een Open Source programmeertaal. Vervolgens zijn de coördinaten van alle meetpunten uit 1983 omgezet naar een Excel-bestand dat is ingevoerd in de TSC3 veldcomputer. Vervolgens zijn de coördinaten ingevoerd in de TSC3 veldcomputer van de RTK-DGPS, waarna de exacte meetpunten van de loding in het veld konden worden opgezocht en opnieuw konden worden ingemeten.

Tijdens twee laagwater-perioden zijn de raaien met nummers 53 t/m 46 ingelopen. Dit betreft de raaien van het getijdengebied voor de kwelder van de Karhoek met een onderliggende afstand van 50 m. De eerste keer inmeten is er één RTK-DGPS gebruikt, de tweede keer zijn er twee gebruikt (de tweede GPS werd geleend van SOVON). Het betrof een RTK-DGPS van dezelfde producent Trimble met dezelfde instellingen en precisie. In totaal zijn 17 raaien ingelopen, omdat er ook tussenliggende raaien met een onderliggende afstand van 25 meter zijn ingemeten om meer precisie te verkrijgen. Elke 10 meter zijn punten binnen de raaien ingemeten. In totaal zijn er in het intergetijdengebied op 1114 locaties xyz-metingen uitgevoerd.

Aanvullend op de eigen metingen van het getijdengebied is een hoge resolutie AHN2-kaart uit 2010 van de Mokbaai verkregen van Rijkswaterstaat, afd. Water, Verkeer en Leefomgeving. Deze metingen maken deel uit van werkzaamheden ten behoeve van het samenstellen van een Algemeen Hoogtebestand van Nederland (zie <http://www.ahn.nl/>). De AHN data worden verzameld door middel van laseraltimetrie vanuit een vliegtuig. In de ruwe hoogtegegevens zijn "witte vlekken" te zien voor delen die open water bevatten, zoals de vaargeul door de Mokbaai. Om een vlakdekkende bathymetrie te krijgen is aanvullende data nodig om de witte vlekken in te vullen. Een aanvullende dataset is verkregen van het Nederlands Instituut voor Zeeonderzoek (NIOZ-Texel), die in 2010 de vaargeul en de ondieptes voor de Mokbaai heeft laten inmeten door Shore monitoring. Op basis van de combinatie van AHN + Shore metingen + eigen RTK-DGPS metingen is een nieuwe bathymetrische kaart samengesteld.

Door de gedigitaliseerde kaart van 1983 en de samengestelde kaart op basis van de gegevens van 2010-2013 te vergelijken ontstaat een verschilkaart waarop erosie en sedimentatiepatronen zichtbaar zijn.



Figuur 15. Lodingskaart van de Mokbaai uit 1983.

4. Resultaten

4.1. Verandering in omvang en vegetatiezones van de kwelder

De ontwikkeling van de kwelder van de Karhoek is weergegeven in Figuur 16 en Tabel 2.

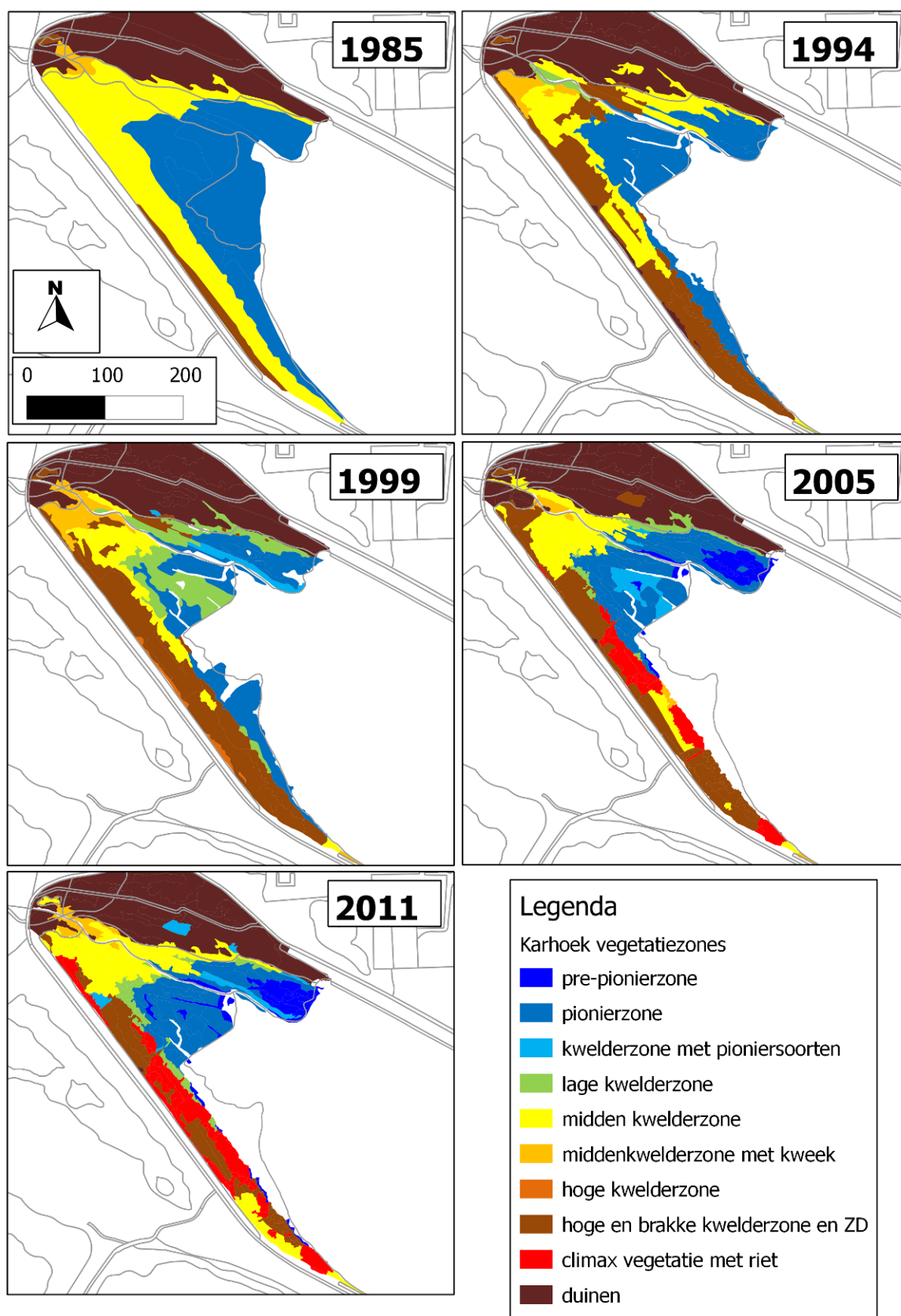
Tabel 2. Oppervlakten van vegetatietypen in ha.

Mokbaai (ha)	1985	1994	1999	2005	2011
pre-pionierzone				1.2	1.7
pionierzone	12.8	7.1	5.4	5.2	4.5
kwelderzone met pioniersoorten			0.5	0.8	0.7
lage kwelderzone		0.3	3.4	0.8	0.9
midden kwelderzone	10.2	5.0	2.4	3.4	4.5
middenkwelderzone met kweek	0.4	0.7	1.3	0.4	0.5
hoge kwelderzone			0.3		
hoge en brakke kwelderzone en ZD	1.1	6.0	6.7	4.7	2.6
climax vegetatie met riet				1.8	3.2
duinen	9.5	10.7	10.3	10.1	10.0
TOTAAL	33.9	29.7	30.3	28.5	28.6

Uit de vergelijking blijkt dat tussen 1985 en 1994 het areaal van de Karhoek is afgenomen. Deze afname heeft zich voornamelijk voorgedaan in de pionierzone van de kwelder, een zone die een grote jaar-op-jaar variatie kan vertonen door aan- of afwezigheid van de eenjarige Zeekraal. Het areaal duin is toegenomen, maar dit kan ook te maken hebben met niet-eenduidige interpretatie van de luchtfoto's. De Karhoek laat in deze periode voornamelijk een successie zien van midden kwelderzone naar hoge en brakke kwelderzone. Tussen 1985 en 1994 is het areaal hoge en brakke kwelder verviervoudigd (zie ook Figuur 17).

Tussen 1994 en 1999 is het kwelderareaal iets uitgebreid. Het meest opvallend is de toename van lage kwelderzone, deels als gevolg van successie vanuit de pionierzone en deels als gevolg van regressie vanuit de midden kwelderzone. Daarnaast was er ook successie naar midden kwelderzone met kweek en een voortgaande successie naar hoge en brakke kwelderzone langs de zuidwestrand.

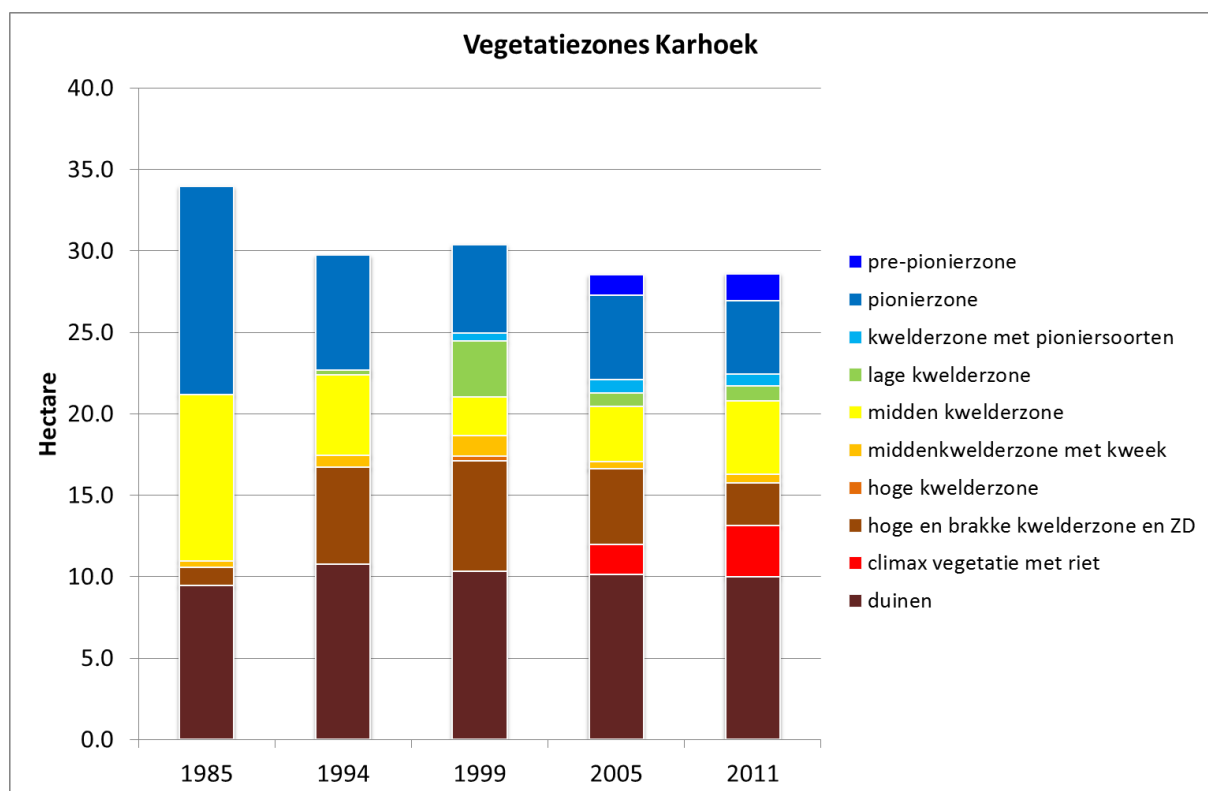
Tussen 1999 en 2005 is de kwelder in oppervlakte afgenomen. De vegetatie-ontwikkelingen in de lage delen van de kwelder kenmerken zich door regressie. De pionierzone langs de zuidelijke kwelderrand is in 2005 vrijwel geheel verdwenen. De pionierzone in het noordelijke deel (voor de duinen) heeft een regressie doorgemaakt naar pre-pionierzone. De lage kwelderzone in het centrale deel van de kwelder heeft een regressie doorgemaakt naar kwelderzone met pioniersoorten. Achterin de kwelder zijn delen van de midden-kwelderzone met kweek terug naar midden kwelderzone. In 2005 zijn grote delen langs de zuidwestelijke rand van de kwelder veranderd in een climax-vegetatie met riet. Ook in het meest westelijke deel van de Karhoek heeft zich een successie naar hoge en brakke kwelderzone voorgedaan vanuit de midden-kwelderzone met kweek.



Figuur 16. Verandering in omvang en vegetatiezonering van de Karhoek in 1985, 1994, 1999, 2005 en 2011, op basis van vegetatiekaarten van Rijkswaterstaat. Bron RWS-DID.

Tussen 2005 en 2011 is het totale kwelderoppervlak iets toegenomen. Als de ijle begroeiing van de pre-pionierzone niet wordt meegeteld, is er echter sprake van een kleine afname. In het centrale deel van de kwelder zette de regressie voort en is de kwelderzone met pioniersoorten teruggegaan naar pionierzone. Tegen het duin aan is het aandeel pre-pionierzone uitgebreid en is de middenkwelderzone teruggegaan naar lage kwelderzone. De successie aan de zuidwestelijke rand van de hoge en brakke kwelderzone naar climaxvegetatie met riet heeft zich grotendeels voortgezet, maar er zijn ook delen teruggegaan naar midden-kwelderzone, met name in het meest westelijk en meest zuidelijk gelegen deel van de rand.

Op hoofdlijnen zijn dus twee parallelle ontwikkelingen te zien. De centrale laag gelegen kwelder laat een afname van pionierzone zien sinds 1985 en na 1999 voornamelijk regressie. De zuidwestelijke rand laat een sterke toename zien van de hoge en brakke kwelderzone overgaand naar climaxvegetatie met riet.

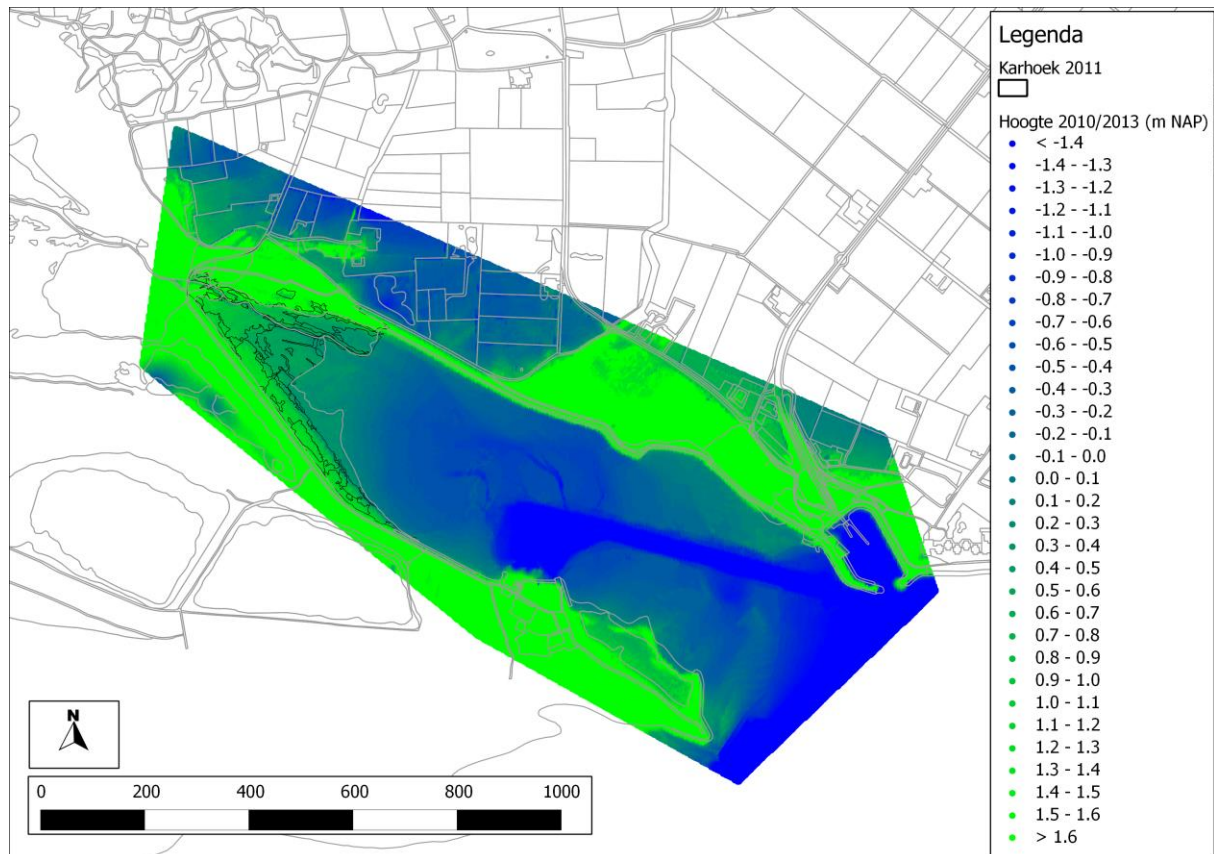


Figuur 17. Veranderingen van de oppervlakte van het areaal vegetatietypen in de Karhoek tussen 1985 en 2005, op basis van vegetatiekaarten.

4.2. De hoogteligging van de kwelder van de Karhoek en de Mokbaai in 2013

Uit de samenstelling van eigen hoogtemetingen van de kwelder, de ruwe data van AHN2 en de Shore metingen van de vaargeul en havenkom is een gebiedsdekkende bathymetrische kaart gemaakt (Figuur 18). Wanneer deze hoogtekaart wordt vergeleken met de kaarten van de vegetatiezones uit 2011 is te zien dat de pionierzone is gelegen op een hoogte van +0,5 tot +0,7 m NAP. Uit de figuur is ook af te leiden dat de hoogte van de kwelder in het noordwestelijke deel van de kwelder lager ligt dan +0,5 m NAP, hetgeen heeft geleid tot de ontwikkeling van een pre-pionierzone. Verder is te zien dat er slechts een zeer smalle strook van +0,5 tot +0,7 m NAP aanwezig is tussen het getijdengebied en de brakke kwelder met riet in het zuidwesten. In deze strook is de pionierzone nagenoeg geheel verdwenen, hetgeen mede te maken kan hebben met golfreflectie tegen de rand van de rietvegetatie die op een 20-30 cm hoger gelegen klif is gelegen. In 1983 was deze rietvegetatie niet aanwezig en was er ook geen

sprake van een klif op deze locatie. De ontwikkeling van dit klif is dus geen gevolg van kliferosie, maar van opbouw van organisch materiaal uit de rietvegetatie. Wel was waarschijnlijk de oostelijke rand van de begroeide kwelder in de jaren tachtig een klifrand (mededeling Dick Drijver).

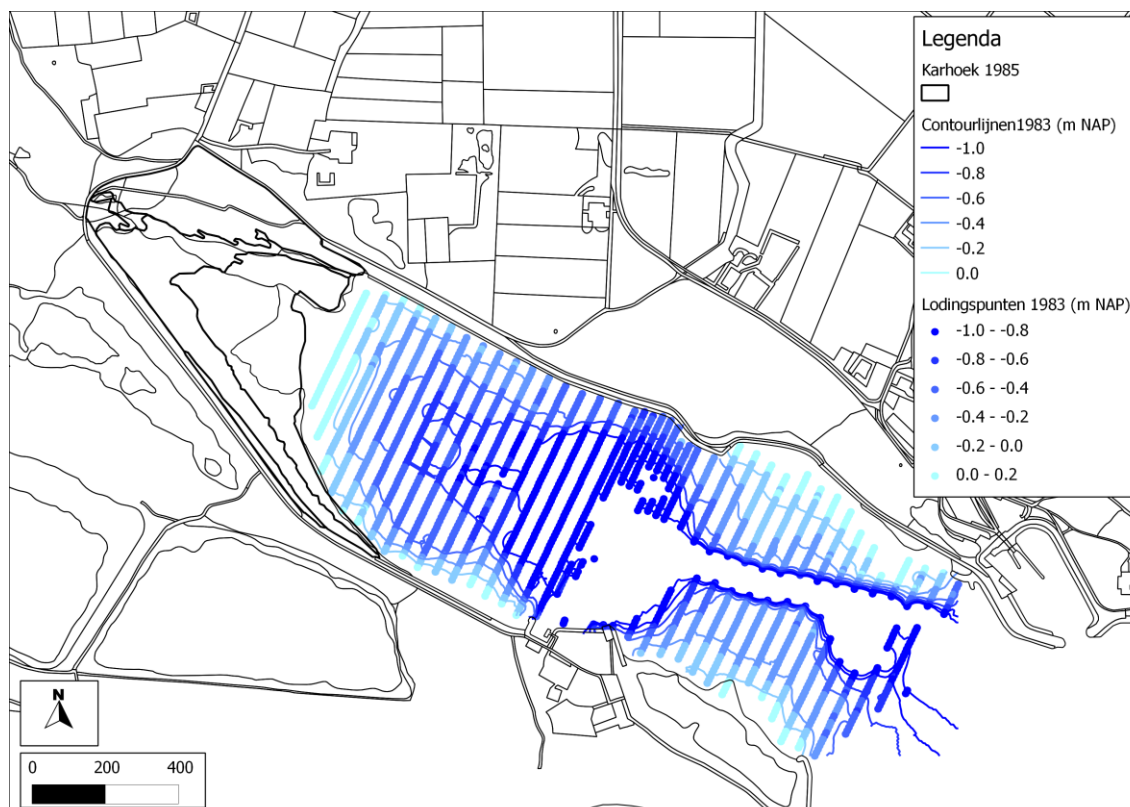


Figuur 18. De bathymetrie van de Karhoek en het getijdengebied van de Mokbaai, gebaseerd op AHN2 uit 2010, Shore metingen uit 2010 en IMARES RTK-DGPS metingen van 2013.

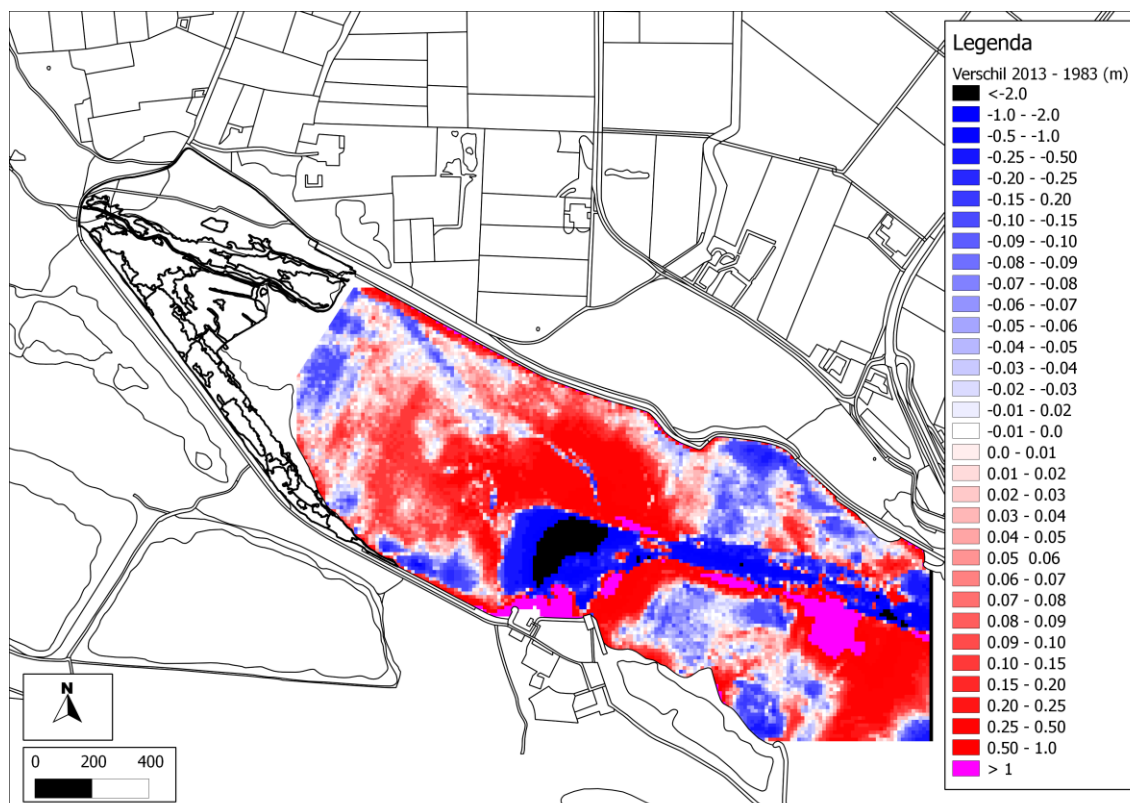
4.3. Vergelijking van de hoogteligging van de Mokbaai in 1983 met 2013

De lodingskaart van 1983 is gedigitaliseerd en in GIS opgenomen, Figuur 19. Vervolgens is met behulp van de hoogtegegevens van 2010/2013 en de gedigitaliseerde bathymetrie op basis van de lodingskaart uit 1983 een verschilkaart gemaakt tussen 2013 en 1983, Figuur 20.

De verschilkaart tussen de lodingen van 1983 en de metingen van 2013 in het getijdengebied voor de Karhoek geeft aan dat er erosie van zo'n 15-25 cm is opgetreden in een gebied ten oosten van de kwelder. In het nog verder oostelijk gelegen wad (richting de oesterbanken) is juist een sedimentatie van 20-40 cm te zien. In de huidige situatie is er nog steeds een geleidelijke gradiënt in hoogte van het getijdengebied, met een afnemende hoogte van de kwelder richting de oesterbank (zie Figuur 18). Maar wanneer er erosie is opgetreden voor de kwelder en sedimentatie bij de oesterbank dan betekent dit dat er in 1983 een steiler profiel was gaande van de kwelderrand naar het verder oostelijk gelegen getijdengebied en dat deze gradiënt in 2013 minder steil is geworden. De erosie vlak voor de kwelder hangt samen met het verdwijnen van de pionierzone.



Figuur 19. Digitalisering van de loding uit 1983 van de Mokbaai.



Figuur 20. Erosie (negatieve waarden in blauw) en sedimentatie (positieve waarden in rood) tussen 1983 en 2010-2013 in de Mokbaai.

In Figuur 20 is te zien dat de grootste verschillen zich voordoen in de vaargeul en de havenkom, en samenhangen met de baggerwerkzaamheden. Interessant is de cirkelvormige ondiepte voor de haven van de Joost Dourlein Kazerne die tot in de jaren '80 door middel van baggerwerk op diepte is gehouden. Deze cirkelvormige ondiepte maakte vroeger onderdeel uit van het watervliegveld. In deze voormalige havenkom is in het noordelijke gedeelte een sedimentatie opgetreden tussen de 20 en 100 cm. Ook is veel sedimentatie opgetreden in de voormalige zandwinput in de monding van de Mokbaai. Aan de voet van het Molwerk is de invloed van de dijkverzwaring en -verbreding te zien. Verder valt op dat er een, zij het geringe, erosie is van het getijdengebied aan weerszijden van de vaargeul en ten westen van de kazerne. Naar de randen toe zijn er locaties waar de erosie lokaal 30 – 50 cm bedraagt.

Dat er sedimentatie is opgetreden in de voormalige havenkom is ook te zien aan de plaatselijk aanwezige oesterbanken. Oesters hebben een grote morfoplasticiteit; ze kunnen hun vorm aanpassen tijdens de groei. De oesters in de oesterbank van de Mokbaai zijn smal (4 cm) en zeer langgerekt (25 cm). Ze groeien bovendien op elkaar om nog meer hoogte te krijgen. Ze moesten waarschijnlijk een langgerekte groeivorm aannemen om boven het sediment uit te blijven komen.

5. Discussie en aanbevelingen

Hoofddoel van het project is na te gaan of er een achteruitgang van het kwelderareaal in de kwelder van de Karhoek is en wat de veranderingen in de vegetatie in dit gebied zijn. Aanvullend doel is om, indien mogelijk, een oorzaak voor de gesignaleerde veranderingen aan te geven en aanbevelingen te doen die, indien gewenst, mogelijk tot vermindering van de achteruitgang of zelfs herstel kunnen leiden.

De vergelijking van de vegetatiekaarten laat zien dat het kwelderareaal van de Karhoek in de periode 1985 - 1994 is afgenomen met ruim 4 ha (ca. 12%). Dit komt voornamelijk door een achteruitgang van de pionierzone. Doordat de belangrijkste soort (Zeekraal) in deze zone in de Mokbaai eenjarig is, kan er een grote jaar-op-jaar variatie optreden, die hier wellicht ook een rol heeft gespeeld. Na 1994 is het totale kwelderareaal nagenoeg gelijk gebleven. Wel hebben zich veranderingen voorgedaan in de vegetatiesamenstelling door successie en regressie. De uitgevoerde analyse op het hoogteverschil tussen 1983 en 2013 laat zien dat het intergetijdengebied direct grenzend aan de kwelder van de Karhoek is verlaagd met 15-25 cm.

Om een verklaring voor deze veranderingen te vinden gaat de aandacht uit naar de sedimentbalans, opslibbing (verandering in hoogteligging), waterhuishouding en natuurlijke vegetatiesuccessie.

5.1. Sedimentbalans

Een eenvoudige berekening van de sedimentbalans van de Mokbaai maakt duidelijk dat de baggerinspanning ten behoeve van de marinehaven aanzienlijk is. Ieder tij gaat er een hoeveelheid water de Mokbaai in en weer uit, het zogenaamde getijprisma. Dit water voert zwevend slib met zich mee, dat onder rustige omstandigheden bezinkt en daarnaast na filtering door mossels of oesters (of andere schelpdieren) als samengeklonterde zwaardere deeltjes (pseudofaeces) naar de bodem wordt gebracht. Het getijprisma bedraagt met springtij ongeveer 1,8 miljoen m³ en met dood tij 1,3 miljoen m³. Gemiddeld is het getijprisma van de Mokbaai zo'n 1,6 miljoen m³.

In de winter zijn er in het algemeen gemiddeld hogere concentraties zwevend slib dan in de zomer en tijdens stormen kunnen er piekconcentraties optreden. Verder is het zo dat de concentratie aan de bodem hoger is dan aan het wateroppervlak. Uit gegevens van Rijkswaterstaat gemeten 1 m onder het wateroppervlak blijkt dat de jaargemiddelde concentratie van sediment in het water van het Marsdiep zo'n 40 g/m³ is over de periode 2007-2012 (Figuur 21). Ieder tij bevat dus maximaal 1,6 miljoen m³ x 40 g/m³ = 64.000 kg sediment. Jaarlijks zijn er ca. 706 tijen dus gaat er jaarlijks maximaal 45 miljoen kg sediment de Mokbaai in en uit, wat in potentie kan bezinken in het gebied.

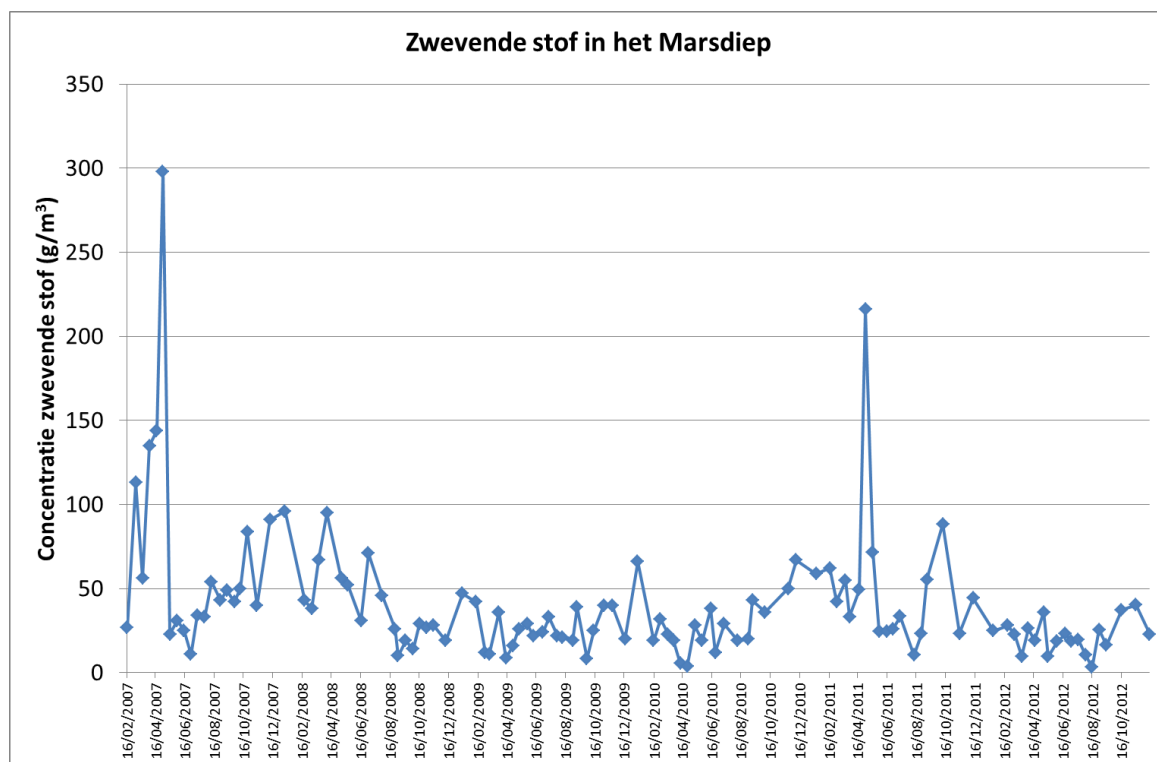
Het Ministerie van Defensie zorgt ervoor dat de vaargeul naar de Joost Dourleinkazerne open blijft. In 1995 is er voor het laatst kapitaalbaggerwerk (baggerwerk dat wordt uitgevoerd voor de verruiming, voor het aanleggen, verdiepen en verbreden van havens en vaargeulen) uitgevoerd en zijn de havenkom en de vaargeul op diepte gebracht. Sinds die tijd is er sprake van onderhoudsbaggerwerk. Hierbij wordt jaarlijks gemiddeld 37.000 m³ uit de vaargeul en havenkom verwijderd. Het gebaggerde sediment bestaat uit een mengsel van zand, slib en water. Het percentage droge stof is 48% en de dichtheid van droge stof is 2500 kg/m³. Het jaarlijkse baggervolume komt overeen met 37.000 m³ x 0,48 x 2500 kg/m³ is 44 miljoen kg sediment.

De uitkomst van de eenvoudige sedimentbalans is dat er evenveel gesuspendeerd sediment de Mokbaai in gaat als dat er in totaal uit wordt weggebaggerd. Hierbij moet worden bedacht dat niet al het sediment dat de Mokbaai binnen gaat tot bezinking komt. Bovendien is de (voormalige) grote ronde vloedkom

nabij de marinehaven dichtgeslibd. Dit duidt er op dat er wel degelijk netto sedimentatie in delen van de Mokbaai is opgetreden. Waarschijnlijk is er een aanzienlijke extra bijdrage van zand dat via bodemtransport de vaargeul en havenkom binnenkomt.

De vraag die door deze studie naar voren is gekomen is of het baggerwerk effect heeft op de kwelderontwikkeling van de Karhoek. Van de hoogteontwikkeling van de kwelder zelf zijn geen gegevens. Op basis van bovenstaande cijfers is het aannemelijk dat de aanwezigheid van de vaargeul en havenkom, in combinatie met het onderhoudsbaggerwerk, resulteren in een verminderde beschikbaarheid van sediment achterin de Mokbaai en op de Karhoek. De netto erosie van het voorliggende getijdengebied ondersteunt dit vermoeden. De verminderde sedimentaanvoer heeft in de periode 1994 – 2011 niet geleid tot een grote afname van het kwelderareaal, wel is er met name in de periode 1999 – 2011 een regressie van de kwelderzonering te zien (d.w.z. een verschuiving naar jongere successiestadia). Het is onbekend hoe de Karhoek zich zou hebben ontwikkeld in een situatie zonder vaargeul en baggerwerkzaamheden. Het is zeer waarschijnlijk dat de sedimentbalans anders zou zijn geweest en daardoor ook de hoogteontwikkeling (grotere kans op opslibbing) wat mogelijk ook een uitbreiding van het kwelderareaal tot gevolg had kunnen hebben.

Bovendien kunnen andere factoren ook een rol spelen. Er heeft lange tijd een grote, oude mosselbank gelegen ten oosten van de havenkom. Deze bank is, in ieder geval deels, verdwenen in 1986, weer aangegroeid door de broedval van 1994 en zeker tot 2000 aanwezig geweest waarna het is overgenomen door de Japanse Oester. Het (deels) verdwijnen of aanwezig zijn van een schelpdierbank kan ook een invloed hebben gehad op de achterliggende kwelder maar die is lastig in te schatten. Aan de ene kant kan het ontbreken van een bank leiden tot een grotere golfaanval op de kwelder en daarmee tot erosie. Aan de andere kant kan een schelpdierbank het transport van sediment blokkeren en zelfs afvangen door het filterende vermogen van de schelpdieren die het slib lokaal vastleggen.



Figuur 21. Concentratie zwevende stof in het Marsdiep in g/m³. Maandelijkse metingen afkomstig van Rijkswaterstaat.

5.2. Vegetatieontwikkeling

Een vergelijking van vegetatietypen en hoogteligging laat de volgende ontwikkelingen in de Mokbaai in de periode 1985-2011 zien:

- Successie van de vegetatiezonering van de kwelder (zonder duingebied en zonder pionierzone). De midden-kwelderzone ontwikkelt zich naar hoge en brakke kwelderzone met zilte duinvalleien en er ontwikkelt zich iets meer midden-kwelderzone met kweek achterin de Karhoek. Tussen 1994 en 1999 zien we nog meer successie. Er ontstaat flink wat lage kwelderzone, de midden-kwelderzone met kweek breidt zich uit en de hoge en brakke kwelderzone ook.
- Tussen 1999 en 2005 is er sprake van regressie in de lage delen van de kwelder. De lage kwelderzone gaat terug naar kwelderzone met pioniersoorten en pionierzone. Tegelijkertijd treedt achterin de Karhoek successie op van de midden-kwelderzone naar hoge kwelderzone en er ontstaat veel meer riet uit de hoge en brakke kwelderzone. Hierbij is waarschijnlijk sprake van twee parallelle en onafhankelijke processen: de toenemende kwel van zoet water (onder andere omdat in het achtergelegen duingebied meer zoetwater wordt vastgehouden dat via de omringende duinen richting Mokbaai lekt) leidt tot successie in de hoge delen. Een tekort aan sediment leidt tot regressie (teruggang in de reeks van vegetatie opvolging) van de lagere delen, vooral in de pionierzone van de kwelder. Bovendien blijkt uit metingen die in 2013 zijn uitgevoerd, en die zijn vergeleken met een door Rijkswaterstaat in 1983 vervaardigde lodingskaart, dat er een verlaging optreedt in de hoogte van het voor de kwelder gelegen wad. Dit wijst op een negatieve sedimentbalans in het meest westelijke deel van de Mokbaai. Hoewel nader onderzoek moet uitwijzen of er een oorzakelijk verband bestaat tussen dit verschijnsel en baggerwerkzaamheden in de Mokgeul is een effect van deze laatste activiteit niet uit te sluiten.

Uit onderzoek op Ameland, in het gebied waar bodemdaling optreedt onder invloed van gaswinning, blijkt dat een verlaging van de hoogteligging van de kwelder zich pas na geruime tijd doorvertaalt in effecten op de samenstelling en een mogelijke regressie van de kweldervegetatie (Dijkema et al. 2011, Wintermans 2012). Deze ontwikkeling loopt dus enkele jaren achter bij veranderingen van hoogteligging. Het feit dat de opgetreden hoogteverlaging van het wad in de Mokbaai zich niet manifesteert in de vegetatie van de kwelder (hoewel er inmiddels wel aanwijzingen voor zijn) is een verschijnsel dat ook elders is vastgesteld. Het feit dat in de Mokbaai nog geen echt duidelijke effecten van de optredende negatieve sedimentbalans zijn waar te nemen past in dit beeld.

5.3. Uitbreiding Riet

Naast achteruitgang in kwelderareaal tussen 1985 en 1994 is in deze periode in de hoger gelegen kwelder het aandeel brakke kwelder toegenomen. In de daarop volgende jaren van 1994 tot 2011 is de brakke kwelder grotendeels overgegaan in een climaxvegetatie met Riet. De ontwikkeling van de rietgordel langs de zuidelijke rand van de Mokbaai is vermoedelijk een gevolg van toenemende kwel van zoetwater uit de duinen grenzend aan de Mokbaai. Het betreft een ontwikkeling die waarschijnlijk is versterkt door de toegenomen vernatting van de Geul en de Horsmeertjes sinds de drinkwaterwinning in de Mokslootvallei is beëindigd in 1993 en beheermaatregelen zijn genomen om zoet water langer in de duinen te houden om verdroging tegen te gaan. De aanwezigheid van een brakke vegetatiegordel is heel natuurlijk en hoort bij een gebied als de Mokbaai. Het is een aanvulling op de reeds aanwezige biodiversiteit en biedt mogelijkheden aan verschillende vogels om te broeden, zoals de Bruine Kiekendief.

Eventuele opties om te proberen deze ontwikkeling te remmen zijn ingrijpend en zullen waarschijnlijk weinig succesvol zijn. Men zou kunnen proberen de zoetwaterafvoer te beperken. Dit zal óf een grote ingreep inhouden, bijvoorbeeld in de vorm van een damwand langs de zuidelijke rand, die niet past in

een natuurlijk systeem en voor andere problemen met de waterhuishouding in het hele duingebied kan zorgen, óf er moet op een andere wijze worden ingegrepen in de waterhuishouding, bijvoorbeeld grotere afstroom uit de duinen via de Moksloot wat ook gevolgen voor de duinen zal hebben. Bovendien zal een grotere zoetwaterafstroom via de Moksloot daar een uitbreiding van brakke vegetatie kunnen veroorzaken. Bovendien is het in beide gevallen de vraag of het riet er werkelijk door zal verdwijnen. Riet kan namelijk groeien in een vrij brede range van zoet naar vrij brak. Daarnaast bestaat de mogelijkheid dat naast Riet zoutere soorten, zoals Zeekweek en Spiesmelde op deze hoger gelegen delen zullen uitbreiden en ook tot een verruigde soortenarme situatie zullen leiden. Intensivering van de begrazing is ook geen optie, omdat schapen het Riet niet voldoende onder controle zullen krijgen en meer schapen ook inhoudt dat andere plantensoorten, zoals Zeeaster, door deze selectieve grazers zullen worden weggegeten. Het gebied is niet geschikt om groter vee, zoals koeien, in te zetten.

In de brakke zone met Riet staat ook Zeebies. Van Grauwe ganzen in de Dollard is bekend dat ze onder andere graag de wortelknollen van deze soort eten (Esselink et al. 1997) en daardoor een grote invloed kunnen uitoefenen op het voorkomen van deze soort. Voor de Mokbaai is niet bekend of Grauwe ganzen op wortelknollen van Zeebies foerageren en of dat de mogelijkheden voor uitbreiding van Riet beïnvloedt.

5.4. Inschatting van de omvang van effecten

Mocht er een oorzakelijk verband bestaan tussen baggerwerkzaamheden in de Mokbaai en regressie van de kwelder in de Mokbaai en een verlaging van de hoogte van het wad voor de kwelder, dan kan dit niet worden beschouwd als een significant effect op de voor het Natura 2000-gebied Waddenzee geformuleerde Instandhoudingsdoelen van de habitattypen H1140 (Slik- en zandplaten), H1310A Zilte pionierbegroeiingen (Zeekraal), H1310B Zilte pionierbegroeiingen (Zeevetmuur) en H1130A (schorren en zilte graslanden (buitendijks)). Daarvoor is het areaal van de betreffende habitatype in de Mokbaai te klein en zijn de effecten vooralsnog te klein te noemen. Niettemin is het perspectief voor deze habitattypen alhier ongunstig en zijn de effecten lokaal wel van belang. Ook moet de ontwikkeling worden geplaatst in het licht van een afname van kwelders in de westelijke Waddenzee die op grotere schaal optreedt (ook op het nabijgelegen westelijke deel van het Balgzand). Om deze reden kunnen bij wijze van voorzorg maatregelen worden getroffen. Hierbij kan worden gedacht om het plaatsvindende agitatiebaggerwerk (het opnieuw in suspensie brengen van afgezette sedimenten om de vaargeul opnieuw voldoende diepte te geven) te doen plaatsvinden tijdens opkomend water. Opgewoeld slib en fijn zand kan op deze wijze onder invloed van natuurlijke transportprocessen naar het westelijke deel van de Mokbaai worden getransporteerd wat een positief effect op sedimentaanvoer aldaar zal hebben. Of een dergelijke maatregel leidt tot een remming van de optredende regressie zou door middel van monitoring nader moeten worden bepaald.

De bovengenoemde effectbeoordeling wijkt af van die welke in het Concept-beheerplan Mokbaai (Arcadis 2007) is gemaakt. In deze rapportage wordt baggeren als een noodzakelijke beheermaatregel opgevoerd, getuige de volgende passage: *"De habitattypen 1110 en 1140 (ondiepe zandbanken en droogvallende slikwadden en zandplaten) worden niet actief beheerd. De vaargeul in de Mokbaai wordt periodiek uitgebaggerd om dichtslibbing te voorkomen. Dit heeft een positief gevolg voor de omliggende slikwadden en zandplaten (habitatype 1140), die vanwege gebrek aan dynamiek dreigen op te slibben. De gevolgen voor de vaargeul zijn beperkt: de gevolgen van het baggeren zijn vergelijkbaar met die van stromingsprocessen in meer natuurlijke stroomgeulen in het waddengebied"*. Gelet op de ontwikkeling in de Mokbaai in een periode dat er nog niet werd gebaggerd in de Mokbaai (zie de Figuren 6 t/m 8) lijkt een dergelijke ontwikkeling niet realistisch.

5.5. Aanbevelingen

- Een aanbeveling voor een toekomstig beheer van de Mokbaai, om zowel het economische belang van de Joost Dourleinkazerne als het ecologische belang van de Karhoek samen op te laten gaan, is te zorgen dat een deel van het gebaggerde sediment achterin de Mokbaai op de kwelder komt. Een mogelijke methode is agitatiebaggeren tijdens de vloedfase. Bij agitatiebaggeren wordt de bodem beroerd door een ploegboot zodat het sediment in suspensie wordt gebracht. Tijdens de vloedfase wordt het sediment dieper de Mokbaai ingevoerd en zal voor en deels op de kwelder tot bezinking komen.
- Om de hoogteontwikkeling van de kwelder en voorliggende wadplaat te volgen zou er een klein monitoringsproject gestart kunnen worden waarin, bijvoorbeeld, jaarlijks vaste transecten gemeten worden en/of minimaal twee maal per jaar puntmetingen aan opslibbing in de kwelder gedaan kunnen worden. De zesjaarlijkse VEGWAD karteringen (RWS) kunnen worden gebruikt om de vlakdekkende veranderingen in vegetatie te volgen.

6. Referenties

- Arcadis, 2007. Ontwerp-Beheerplan Natura2000 Joost Dourleinkazerne. Rapport 110402/OF7/025/000810/EvL, 125 p.
- Barnard, W. & Rommets, J., 1995. 50 jaar na dato. Gemeente Texel / Langeveld & De Rooy, Den Burg, 32 p.
- De Jong, D.J., K.S. Dijkema, J.H. Bossinade & J.A.M. Janssen, 1998. SALT97. Classificatieprogramma voor kweldervegetaties. Rijkswaterstaat RIKZ, Dir. Noord-Nederland, Meetkundige Dienst; IBN-DLO.
- Dijkema, K.S., 1994. Zeespiegelstijging en kwelderbeheer. Waddenbulletin 1994: 104-107.
- Dijkema, K.S., van Dobben, H.F., Koppenaal, E.C., Dijkman, E.M., van Duin, W.E., 2011. Kweldervegetatie Ameland 1986-2010: effecten van bodemdaling en opslibbing op Neerlands Reid en De Hon. In: Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland.
- Dijksen, A.J., 1996. Vogels op het Gouwe Boltje. Een volledig overzicht van de avifauna van Texel. Langeveld & De Rooy, Den Burg. 533 p.
- Esselink, P., G. J.F. Helder, B. A. Aerts & K. Gerdes, 1997. The impact of grubbing by Greylag Geese (Anser anser) on the vegetation dynamics of a tidal marsh. Aquatic Botany 55: 261-279.
- Jager, T.D., 2007. Toelichting bij de vegetatiekartering Kwelders Texel 2005. De Hors, Mokbaai/De Mok, De Schorren en Schor bij De Cocksdorp. Op basis van false colour-luchtfoto's 1: 5.000. Rapport AGI-2007-GSMH-013. Rijkswaterstaat, AGI, Delft. 182 p.
- Koppejan, H., 2002. Toelichting bij de vegetatiekartering Kwelders Texel 1999. De Hors, Mokbaai/De Mok, De Schorren en Schor bij de Cocksdorp. Op basis van false colour-luchtfoto's 1: 5000. Rapport MD-GAE -2001-30, Rijkswaterstaat - Meetkundige Dienst, Delft. 70 p.
- Pranger, D.P. & M.E. Tolman, 2013. Toelichting bij de Vegetatiekartering Slufter en andere kwelders op Texel 2011. Op basis van false colour-luchtfoto's 1: 5.000. Rapport RWS-DID, Delft. 373 p.
- Schoorl, H., 1999a. De convexe kustboog, Texel-Vlieland-Terschelling. Deel 1: Het westelijk Waddengebied en het eiland Texel tot circa 1550. Pirola, Schoorl, 1-187.
- Schoorl, H., 1999b. De convexe kustboog, Texel-Vlieland-Terschelling. Deel 2: Het westelijk Waddengebied en het eiland Texel tot circa 1550. Pirola, Schoorl, 192-521.
- Smit, C.J., 2000. Bouwstenen voor een beheersvisie van de Texelse Mokbaai. Alterra-rapport 146, Wageningen, Texel. 98 p.
- Tolman, M.E. & Knotters, A.G., 1997. De vegetatie van een aantal deelgebieden op Texel en bij Balgzand. Op basis van false colour-luchtfoto's 1994/1995. Rapport MD-GAT -96.33, Rijkswaterstaat - Thematische Geo-informatie, Delft. 43 p.
- Van der Vis, J.A., 1975. 't Land van Texsel. Een geschiedschrijving. Langeveld & De Rooy, Den Burg. 528 p.
- Vertegaal, C.T.M., 2000. De Hors en Horsduinen (oefenterrein Joost Dourleinkazerne), Beheersplan 2000 - 2005. Vertegaal Ecologisch Advies en Onderzoek, Leiden.
- Wintermans, G., 2012. Effecten van bodemdaling door gaswinning op het Waddenzeegebied. De Levende Natuur 113, 129-135.

Verantwoording

Rapport C168/13

Projectnummer: 430.61227.01

Referentie: Baptist, M.J., C.J. Smit, W.E. van Duin & S.E.A. Treffers (2014). Kwelderontwikkeling van de Karhoek in de Mokbaai op Texel. IMARES rapport C168/13, 34 p.

Dit rapport is met grote zorgvuldigheid tot stand gekomen. De wetenschappelijke kwaliteit is intern getoetst door een collega-onderzoeker en het betreffende afdelingshoofd van IMARES.

Akkoord: dr. A.V. de Groot
Onderzoeker kwelders en duinen

Handtekening:



Datum: 8 april 2014

Akkoord: drs. J. Asjes
Afdelingshoofd Afdeling Ecosystemen



Handtekening:

Datum: 8 april 2014